



TUGAS AKHIR - TE 141599

IMPLEMENTASI ALGORITMA *MULTIPLE SIGNAL CLASSIFICATION (MUSIC)* DAN *MAXIMUM SIGNAL TO INTERFERENCE RATIO* PADA *UNIVERSAL SOFTWARE RADIO PERIPHERAL (USRP)* UNTUK ANTENA CERDAS

Ranieta Shifa Fauziah
NRP 2213106070

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Puji Handayani, MT.
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE 141599

IMPLEMENTATION ALGORITHM OF *MULTIPLE SIGNAL CLASSIFICATION (MUSIC)* AND *MAXIMUM SIGNAL TO INTERFERENCE RATIO* IN *UNIVERSAL SOFTWARE RADIO PERIPHERAL (USRP)* FOR SMART ANTENNA

Ranieta Shifa Fauziah
NRP 2213106070

Advisors
Dr. Ir. Puji Handayani, MT.
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**IMPLEMENTASI ALGORITMA MULTIPLE SIGNAL
CLASSIFICATION (MUSIC) DAN MAXIMUM SIGNAL TO
INTERFERENCE RATIO PADA UNIVERSAL SOFTWARE RADIO
PERIPHERAL (USRP) UNTUK ANTENA CERDAS**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

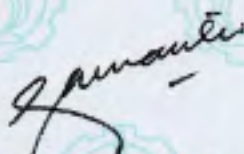
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

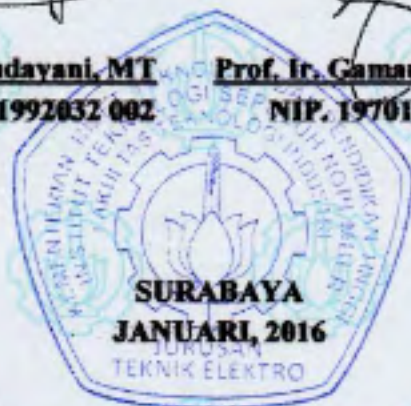


Dr. Ir. Puji Handayani, MT
NIP. 19660510 1992032 002

Dosen Pembimbing II



Prof. Ir. Gamanryo H, M.Eng, Ph.D
NIP. 19701111 1993031 002



Implementasi Algoritma *Multiple Signal Classification* (MUSIC) dan *Maximum Signal to Interferer Ratio* pada *Universal Software Radio Peripheral* (USRP) untuk Antena Cerdas

Nama : Ranieta Shifa Fauziah
Pembimbing : Dr. Ir. Puji Handayani, MT
Prof. Ir. Gamantyo H., M.Eng, Ph.D.

ABSTRAK

Perkembangan teknologi dan mobilitas *user* yang sangat tinggi mengakibatkan kebutuhan akan sinyal yang kuat serta jangkauan yang luas juga meningkat. Namun jika hanya memperluas *coverage* sinyal saja hal tersebut tidak akan terlalu efektif jika *user* hanya memiliki kecenderungan mobilitas yang tinggi pada suatu arah tertentu, sehingga diperlukan teknologi yang dapat menjangkau pergerakan *user* pada area tersebut. Teknologi antena cerdas (*smart antenna*) merupakan salah satu solusi untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. *Smart antenna* merupakan suatu antena dengan konfigurasi beberapa susunan elemen yang dapat mengenali tanda spasial sinyal seperti arah kedatangan sinyal dan mengarahkan beam pada suatu sumber sinyal yang dalam keadaan diam ataupun bergerak.

Dalam tugas akhir ini dilakukan implementasi teknologi *smart antenna* pada *Universal Software Radio Peripheral* (USRP) untuk deteksi arah kedatangan sinyal. Spesifikasi sistem yang dibangun yakni menggunakan Algoritma MUSIC untuk deteksi arah kedatangan sinyal dan Algoritma *Maximum Signal to Interference* untuk beamforming sinyal. Implementasi dilakukan dengan menggunakan 5 unit USRP yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz. Pemrograman dan simulasi kedua algoritma dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab dan untuk menerapkan algoritma tersebut pada USRP digunakan *software* LabVIEW.

Hasil simulasi algoritma dengan menggunakan Matlab diperoleh error sudut rata-rata sebesar 0° dan dari hasil pengukuran dilapangan diperoleh tingkat akurasi deteksi arah kedatangan dengan error sudut rata-rata yang terkecil adalah sebesar $19,96^\circ$.

Kata Kunci: Algoritma MUSIC, Algoritma Maximum SIR, MATLAB, LabView, USRP

***Implementation Algorithm of Multiple Signal Classification (MUSIC)
and Maximum Signal to Interference Ratio in the Universal Software
Radio Peripheral (USRP) for Smart Antenna***

Name : Ranieta Shifa Fauziah
Advisor : Dr. Ir. Puji Handayani, MT
Prof. Ir. Gamantyo H., M.Eng, Ph.D.

ABSTRACT

Developments in technology and user high mobility are causes the need for strong signal as well as the extensive range also increased. However, if only expand signal coverage alone it would not be very effective if the user only has the tendency in a high mobility in a particular direction, so that the necessary technology that can reach the user movement in these areas. Smart antenna technology is one of the solutions to solve these problems. Smart antenna is an antenna with several sets of configuration elements that can recognize signs of spatial signal such as direction of arrival signal and directs the beam to a signal source in rest or moving condition.

In this final project the implementation of smart antenna technology to Universal Software Radio Peripheral (USRP) for the detection of the direction of arrival of a signal. Specification of the system built using MUSIC algorithm for the detection of the direction of arrival of a signal and Algorithm Maximum Signal to Interference for beamforming signal. Implementation is done using 5 units of USRP who works at a frequency of 2.4 GHz. Programming and simulation of both algorithms performed using Matlab software and to implement the algorithm on USRP used LabVIEW software.

The simulation results using Matlab algorithm obtained angle error average of 0° and the results obtained in the field of measurement accuracy rate detection angle direction of arrival with an average error smallest is at 19.96° .

Keywords: MUSIC Algorithm, Algorithm Maximum SIR, MATLAB, LabView, USRP

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan buku Tugas Akhir dengan judul :

“IMPLEMENTASI ALGORITMA *MULTIPLE SIGNAL CLASSIFICATION* (MUSIC) DAN *MAXIMUM SIGNAL TO INTERFERENCE RATIO* PADA *UNIVERSAL SOFTWARE RADIO PERIPHERAL* (USRP) UNTUK ANTENA CERDAS ”

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi pada bidang studi Telekomunikasi Multimedia di Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, khususnya kepada:

1. Kedua orang tua dan kakak-kakakku tercinta, terima kasih atas harapan dan dukungan selama mengerjakan tugas akhir ini.
2. Ibu Puji Handayani, MT dan Bapak Prof. Gamantyo Hendranto, M.Eng, Ph.D. selaku dosen pembimbing atas semua waktu, pengetahuan dan dukungan selama mengerjakan tugas akhir ini.
3. Bapak dan ibu dosen Teknik Elektro ITS yang telah banyak memberikan ilmu dan berbagai pengetahuan.
4. Sahabatku Tania fatmacory dan yang sudah bersabar membantu selama berkuliah di kampus tercinta ini, Anggidhira dan Teman-teman LJ Telkom Genap 2013 kalian semua hebat.
5. Rekan-rekan laboratorium Antena dan Propagasi Elektro ITS, Terima kasih atas semua pengetahuan, sharing pengalaman dan bantuannya.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis menyadari masih terdapat banyak keterbatasan didalamnya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun.

Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pembaca, dan membantu mewujudkan kemandirian teknologi Indonesia.

Surabaya, Januari 2016
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi	4
 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Antena Cerdas	5
2.2 Antena <i>Array Linear</i>	5
2.2.1 <i>Array Factor</i>	7
2.2.2 <i>Antenna Factor</i>	8
2.2.3 <i>Gain</i>	8
2.2.4 Daerah Medan Antena	9
2.2.5 <i>Broadside Linear Array</i>	11
2.3 Matrik Korelasi <i>Array</i>	11
2.4 Algoritma MUSIC	14
2.5 Algoritma <i>Maximum SIR</i>	16
2.6 Propagasi Gelombang pada <i>Free Space</i>	18

2.7	<i>Universal Software Radio Peripheral (USRP)</i>	20
2.7.1	<i>Bandwidth USRP</i>	21
2.7.2	<i>Motherboard USRP NI-2922</i>	22
2.7.3	<i>Daughterboard SBX</i>	25
2.7.4	<i>Daya Pancar USRP</i>	25
2.8	<i>Perangkat Lunak MATLAB dan LABVIEW</i>	26

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

3.1	Perancangan Umum Sistem	29
3.2	Deskripsi perangkat	30
3.2.1	Perangkat lunak	30
3.2.2	Perangkat keras	31
3.3	Perhitungan Karakteristik Sistem	33
3.3.1	Simulasi Polaradiasi Medan	33
3.3.2	Perancangan Daerah Medan Antena	35
3.3.3	Perancangan Powerlink Budget	36
3.4	Perancangan Simulasi Sistem	37
3.4.1	Simulasi matlab	38
3.4.2	Simulasi LabVIEW	44
3.5	Perancangan LabVIEW untuk implementasi pada USRP	45
3.5.1	Koneksi perangkat	45
3.5.2	Rancangan Sistem pengirim Tx	46
3.5.3	Rancangan Sub-Sistem pengirim	48
3.5.4	Rancangan siste penerima Rx	49
3.6	Skenario pengukuran	52

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

4.1	Parameter Evaluasi Sistem	55
4.2	Analisa Hasil Simulasi	55
4.2.1	Analisa pengaruh SNR dan Elemen	58
4.2.2	Analisa Simulasi pada LabVIEW	61
4.3	Hasil Analisa Pengukuran	62

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan 67

5.2 Saran 67

DAFTAR PUSTAKA 69

LAMPIRAN A PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR ... 71

LAMPIRAN B SPESIFIKASI PERANGKAT 73

LAMPIRAN C DIAGRAM BLOK PROGRAM LABVIEW 79

LAMPIRAN D SCRIPT PROGRAM MATLAB 87

LAMPIRAN E DOKUMENTASI PENGUKURAN 91

DAFTAR PUSTAKA 93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Antena <i>Array Linear</i>	6
Gambar 2.2	<i>Array Factor</i> untuk tiga elemen	7
Gambar 2.3	Daerah medan antenna	9
Gambar 2.4	<i>Broadside Array Linear</i> dengan 4 elemen	11
Gambar 2.5	M-elemen <i>array</i> dengan sinyal terima	12
Gambar 2.6	Elemen array dengan sinyal yang diinginkan dan sinyal interferer	16
Gambar 2.7	Blok penguatan bertingkat	19
Gambar 2.8	Diagram Blok SDR USRP	21
Gambar 2.9	Diagram Blok USRP NI-2922	22
Gambar 2.10	Bagian dalam USRP NI-2922	24
Gambar 2.11	Panel depan USRP NI-2922	25
Gambar 3.1	Blok sistem <i>testbed smart antenna</i>	29
Gambar 3.2	Skenario lintasan arah perangkat sinyal	30
Gambar 3.3	Konfigurasi perangkat sistem <i>smart antenna</i>	33
Gambar 3.4	<i>Array Factor</i> untuk Tiga Elemen	34
Gambar 3.5	Dimensi antenna array	35
Gambar 3.6	Flowchart perancangan Simulasi Sistem	38
Gambar 3.7	Flowchart Algoritma MUSIC	40
Gambar 3.8	Flowchart Algoritma <i>Maximum SIR</i>	43
Gambar 3.9	Tampilan front panel dari LabVIEW Simulasi	44
Gambar 3.10	Tampilan NI USRP Configuration Utility	45
Gambar 3.11	Tampilan Ip pada NI-USRP Configuration Utility	46
Gambar 3.12	Diagram alir sistem pengiriman Tx	47
Gambar 3.13	Pembangkitan sinyal tone	48
Gambar 3.14	Tampilan front panel Tx pemancar	49
Gambar 3.15	Diagram Alir sistem penerima Rx	50
Gambar 3.16	Blok penyimpanan data	51
Gambar 3.17	Plot pseudospektrum MUSIC dan <i>Maximum SIR</i> ...	53
Gambar 3.18	Denah lokasi Pengukuran A	46
Gambar 3.19	Denah lokasi Pengukuran B	46
Gambar 3.20	Denah lokasi Pengukuran C	47

Gambar 3.21	Denah lokasi Pengukuran D	47
Gambar 4.1	MUSIC pseudospektrum untuk DoA 60 dan 100 ...	56
Gambar 4.2	Error Estimasi pada Algoritma MUSIC untuk DoA 0° hingga 180°	56
Gambar 4.3	Hasil Beamforming unuk DoA <i>wanted signal</i> 60° dan DoA interferer 100° pada konfigurasi 3-Element Array	57
Gambar 4.4	Error Estimasi pada Algoritma MUSIC untuk DoA 0° hingga 180°	58
Gambar 4.5	Error estimasi sudut DoA dengan variasi SNR	59
Gambar 4.6	Error estimasi DoA pada variasi SNR pada sudut interferensi 90	59
Gambar 4.7	Error Estimasi Beamforming pada Variasi SNR pada Sudut 0°-180°	60
Gambar 4.8	Pengaruh Jumlah elemen terhadap deteksi sudut pada DoA dengan Algoritma MUSIC	60
Gambar 4.9	Hasil simulasi LabVIEW untuk Estimasi DoA 50° dan 90° dengan menggunakan Algoritma MUSIC	61
Gambar 4.10	Hasil simulasi LabVIEW untuk estimasi DoA	61
Gambar 4.11	Error Sudut pada pengukuran lokasi A	62
Gambar 4.12	Error Sudut pada pengukuran lokasi B	63
Gambar 4.13	Error Sudut pada pengukuran lokasi C	63
Gambar 4.14	Error Sudut pada pengukuran lokasi D	64
Gambar 4.15	Error rata-rata pengukuran	64
Gambar 4.16	Error rata-rata tiap sudut	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi USRP	23
Tabel 2.2	Daya <i>output</i> USRP NI-2922 pada frekuensi 2,4GHz dengan variabel gain pancar	26
Tabel 3.1	Parameter <i>Power Link Budget</i>	36



BAB 1

PENDAHULUAN

Bab 1 membahas tentang pendahuluan penelitian yang terdiri dari latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan, dan relevansi.

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi antena pada masa sekarang ini sudah sangat pesat sekali, yang selalu mengarah kepada perbaikan kualitas sinyal yang diterima. Salah satu teknologi yang mendasari adalah mempergunakan antena yang memiliki pengarah yang lebih baik serta memiliki lobe utama dan null yang dapat diatur arahnya. Antena semacam ini dapat diwujudkan dengan menyusun beberapa elemen antena membentuk suatu susunan tertentu yang disebut dengan array. Dari teknologi yang sudah dikembangkan sampai saat ini, direktivitas serta pengarah beam antena dilakukan dengan beberapa cara yang dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu pengaturan secara fisik antena serta pengaturan dengan algoritma pengolahan sinyal terhadap sinyal keluaran antena. Salah satu contoh pengaturan fisik antena misalnya dengan mengatur jarak antar elemen antena. Dengan mengatur jarak elemen antena, akan diperoleh perbedaan fase array dari masing – masing keluaran elemen yang optimal pada arah sinyal yang diinginkan sekaligus menekan berkas antena pada arah sinyal pengganggu secara mekanis. Namun cara tersebut masih dirasa kurang efisien, Sehingga dikembangkan teknik lain yaitu dengan cara pengolahan terhadap sinyal keluaran antena secara digital sehingga dapat diterapkan algoritma – algoritma tertentu terhadap sinyal tersebut untuk dapat membentuk pengarah serta arah beam antena sesuai yang diinginkan tanpa mengubah letak dan fisik antena.

Perkembangan algoritma memasuki era baru dengan diusulkannya penggunaan *eigen-analysis* antara lain algoritma MUSIC pada tahun 1973. Skema berbasis eigen analysis ini menarik banyak peneliti karena kemampuan mendeteksi beberapa sinyal datang sekaligus dengan resolusi yang tinggi[1]. Pada Algoritma maximum SIR yang digunakan untuk beamforming, kriteria yang dapat dilakukan untuk meningkatkan sinyal terima dan meminimalisir interferensi sinyal adalah dengan memaksimalkan nilai SIR[2]. Sehingga algoritma *maximum SIR* sangat

cocok digunakan untuk *beamforming* sinyal yang berada dekat dengan sumber interferensi.

Pada penelitian implementasi *smart antenna*, kompleksitas perangkat yang cukup rumit adalah tantangan tersendiri sehingga dibutuhkan perangkat yang sederhana dengan biaya terjangkau. Teknologi *Software Defined Radio* (SDR) dengan perangkat *Universal Software Radio Peripheral* (USRP) yang memanfaatkan antarmuka pengolahan sinyal berupa perangkat lunak simulasi seperti Matlab dan LabVIEW adalah salah satu solusinya. Beberapa perangkat keras pembangun sistem *smart antenna* dapat di sederhanakan dalam beberapa USRP yang dirangkai bersama antena untuk membentuk konfigurasi *array* yang disinkronkan dengan *external clock*. Sinyal dari antena *array* masing-masing diproses untuk mengetahui arah kedatangan sinyal (DoA).

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana hasil perancangan Algoritma MUSIC dan *Maximum SIR* pada Matlab?
2. Bagaimana hasil DoA pada USRP?
3. Bagaimana hasil daya yang diperoleh dari pengukuran pada antena penerima dan antena pengirim?
4. Bagaimana hasil analisa sudut yang dideteksi pada pengukuran setelah dilakukan DoA?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah

1. Algoritma yang digunakan untuk DoA adalah Algoritma MUSIC
2. Algoritma yang digunakan untuk Beamforming adalah Algoritma *Maximum SIR*
3. Frekuensi yang digunakan adalah 2,4 GHz.
4. Jenis antena yang digunakan pada pengirim dan penerima adalah dipole dengan pola radiasi *omnidirectional*.
5. Perangkat pengujian yang digunakan adalah USRP.
6. Simulasi, pembangkitan dan pengolahan sinyal dilakukan dengan perangkat lunak Matlab dan LabView.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah mengimplementasikan sistem *smart antenna* dengan USRP untuk mendeteksi arah kedatangan sinyal dengan menggunakan algoritma MUSIC pada *user* yang bergerak.

1.5 Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Perangkat

Meliputi persiapan perangkat lunak dan perangkat keras yang akan digunakan dengan mempelajari prinsip kerja, cara konfigurasi perangkat, dan interkoneksi antara perangkat keras dan perangkat lunak.

2. Perancangan dan Implementasi

Perancangan meliputi proses penentuan parameter, pembuatan algoritma dan simulasi menggunakan perangkat lunak Matlab. Kemudian dilanjutkan dengan proses implementasi algoritma pada USRP menggunakan perangkat lunak LabView.

3. Pengujian dan Pengukuran

Pengujian dilakukan dengan *software* MATLAB untuk memastikan algoritma telah bekerja dengan baik. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui kinerja algoritma yang dirancang dalam melakukan deteksi sudut datangnya sinyal dengan menggunakan USRP.

4. Analisis

Dari hasil pengukuran yang diperoleh, dilakukan analisis akurasi deteksi sudut yang dihasilkan oleh algoritma. Untuk menentukan tingkat akurasi sudut yang terdeteksi dibandingkan dengan letak sudut sebenarnya sumber sinyal pada lintasan yang telah dibuat.

5. Penulisan laporan Tugas Akhir

Semua proses penelitian mulai dari studi pustaka penelitian, spesifikasi perangkat yang digunakan hingga data hasil simulasi dan pengukuran secara langsung disusun serta dianalisa dalam bentuk buku laporan Tugas Akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Memberikan gambaran permasalahan yang dihadapi dalam penelitian yang mencakup latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, metodologi penelitian, sistematika penulisan laporan dan relevansi penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Membahas dasar teori yang berkaitan dengan prinsip kerja *smart antenna*, algoritma MUSIC dan Max SIR, pengolahan sinyal yang diterima dan perangkat yang digunakan dalam penelitian.

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

Membahas perancangan dan implementasi algoritma MUSIC dan Max SIR pada USRP serta simulasi pengolahan sinyal dengan mengacu pada tinjauan pustaka dan keterbatasan kemampuan perangkat untuk mendeteksi sudut datangnya sinyal.

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Berisi hasil perancangan algoritma dan analisis data hasil pengukuran algoritma yang diimplementasikan pada USRP.

BAB 5 PENUTUP

Berisi kesimpulan sebagai hasil dari analisis algoritma yang telah di implementasikan dan diuji serta saran penelitian selanjutnya.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi industri telekomunikasi sebagai rekomendasi mengenai implementasi *smart antenna* untuk komunikasi dan perkembangan teknologi di masa depan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka yang dipergunakan penulis sebagai referensi penelitian Tugas Akhir secara umum terbagi menjadi tiga konsep utama yaitu konsep *smart antenna*, USRP, dan perangkat lunak simulasi MATLAB dan LabVIEW.

2.1 Antena cerdas

Antena Cerdas atau *Smart Antenna* adalah antena array dengan algoritma sinyal prosesi yang digunakan untuk mengenali tanda sinyal spasial seperti arah kedatangan sinyal atau DoA (*Direction of Arrival*), dan pembentukan beam pada arah kedatangan sinyal yang diinginkan dan menekan sinyal interferensi yang tidak diinginkan pada keadaan mobile atau bergerak maupun dalam keadaan diam.

Teknik antena cerdas biasanya digunakan pada prosesi sinyal, memantau dan memindai RADAR, radio astronomi, radio teleskop, dan lebih banyak digunakan pada sistem seluler. Prinsip kerjanya sama dengan prinsip kerja tubuh kita. Susunan elemen antena berfungsi seperti telinga, kulit, dan hidung, yaitu mampu menerima kedatangan sinyal berupa sudut fasa sinyal datang. Algoritma *signal processing* berfungsi seperti otak, yaitu mampu mengkorelasikan semua sinyal datang yang dideteksi dan mengestimasi sehingga dapat ditentukan lokasi sinyal datang tersebut serta mampu membedakan sinyal yang diinginkan dan sinyal yang tidak diinginkan. *Beamforming* berfungsi seperti mulut, yaitu mampu memberikan informasi kepada *user* yang dideteksi dengan cara mengirimkan kembali sinyal tersebut pada arah yang sama saat kedatangan sinyal tersebut.

2.2 Antena Array Linear [3]

Pada antena *array* linear, seluruh elemen disusun disepanjang suatu garis lurus dengan jarak antar elemen sejauh d , sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Ketika berkas yang berasal dari suatu sinyal mengenai antena *array* dengan sudut datang θ , maka akan terjadi delay antara elemen masing-masing sebesar $d \cos \theta$.



Gambar 2.1 Antena *Array* Linear

Sinyal yang sampai pada antenna array linear M elemen adalah berupa kombinasi linear dari jumlah D sinyal datang dan noise $n(t)$. Sinyal yang diterima pada antenna dapat dinyatakan oleh :

$$x(t) = \bar{A}s(t) + n(t) \quad (2.1)$$

Sinyal $x(t)$ yang diterima pada antenna dinyatakan dalam bentuk kompleks berupa amplitudo dan fasa pada suatu titik referensi. Noise $n(t)$ adalah berupa suatu vector kompleks, berasal dari sinyal datang atau dibangkitkan secara internal oleh perangkat penerima. *Steering vector* A adalah bilangan kompleks dan merupakan fungsi dari geometri suatu antenna *array* dan fungsi dari sudut sinyal datang $s(t)$, yang dapat dinyatakan oleh:

$$\bar{A}(\theta) = e^{j(M-1)\frac{2\pi}{\lambda}d \cos \theta} \quad (2.2)$$

Dapat dinyatakan dalam bentuk metrik:

$$\begin{aligned} \bar{A}(\theta) &= \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j(\beta d \cos \theta + \alpha)} \\ \vdots \\ e^{j(M-1)(\beta d \cos \theta + \alpha)} \end{bmatrix} \\ &= [1 \quad e^{j(\beta d \cos \theta + \alpha)} \quad \dots \quad e^{j(M-1)(\beta d \cos \theta + \alpha)}]^T \end{aligned} \quad (2.3)$$

Dengan λ adalah panjang gelombang, M adalah elemen *array* ke i, d adalah jarak antar elemen dan θ adalah sudut datang sinyal.

2.2.1 Array Factor [2]

Array factor adalah normalisasi medan total susunan antenna terhadap nilai maksimum dari medan total susunan tersebut.

Jika elemen ke- $(m+1)$ merupakan banyaknya M elemen penyusun array dengan *phase* α , dan amplitudo sinyal di elemen (A_0) sama dan bernilai satu, maka persamaan matematis untuk *array factor* (AF) antenna array adalah :

$$AF = \sum_{m=0}^{M-1} A_0 e^{jm(\beta d \cos \theta + \alpha)} = \sum_{m=0}^{M-1} e^{jm\psi} \quad (2.4)$$

dimana :

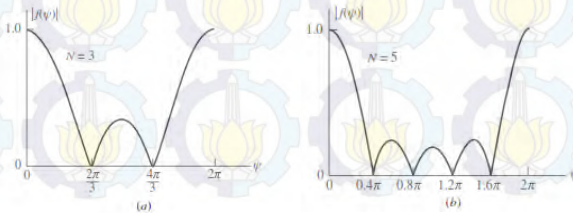
$$\psi = \beta d \cos \theta + \alpha \quad (2.5)$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.6)$$

Nilai *phase* antar elemen akan mempengaruhi karakteristik antenna array karena setiap elemen isotropis memiliki besar amplitudo yang sama. Karakteristik *phase* dipengaruhi langsung oleh jarak antar elemen array yang dinyatakan dalam persamaan panjang gelombang (λ).

Plot pola radiasi AF pada koordinat *cartesian* sebagai fungsi dari ψ diperoleh dari persamaan 2.7 yang diturunkan dari proses normalisasi *array factor* untuk M -elemen jika besarnya arus listrik antar elemen *uniform* (sama) dan spasi antar elemen seragam (*equally spaced linear array*). Persamaan 2.7 akan bernilai periodik di 2π . Plot *array factor* yang memanfaatkan persamaan 2.7 dengan beragam jumlah M -elemen array, dinyatakan pada ref. dengan notasi N , ditunjukkan melalui Gambar 2.2.

$$f(\psi) = \frac{\sin(M\psi/2)}{M\sin(\psi/2)} \quad (2.7)$$



Gambar2.2 Array factor untuk Tiga elemen.

2.2.2 Antenna Factor

Faktor antenna didefinisikan sebagai rasio dari medan elektromagnetik pada antenna dengan output tegangan pada output terminal (V/m).

$$A_F = \frac{E_{incident}}{V_{received}} \quad (2.8)$$

Dimana

AF = antenna factor (m^{-1})

E = medan listrik (V/m)

V_L = tegangan pada terminal antenna (V)

Antenna factor biasanya dinyatakan dengan dB dan ketika digunakan untuk mendefinisikan nilai medan listrik dapat dinyatakan sebagai

$$E_{[dB(\mu V/m)]} = V_{[dB(\mu V)]} + AF_{[dB(m^{-1})]} \quad (2.9)$$

Penggunaannya dalam EMC adalah untuk mencirikan sifat – sifat antenna penerima. Sebuah penerima seperti spektrum analyzer dapat dibaca dengan mudah dengan cara menambahkan faktor antenna dalam dB untuk pembacaan spektrum analyzer dalam dBmV dan menambahkan rugi-rugi sambungan dalam dB untuk menghasilkan medan listrik dalam dBmV/m.

$$E \left(\frac{dB\mu V}{m} \right) = AF(dB) + V_{SA}(dB) + \text{loss kabel (dB)} \quad (2.10)$$

2.2.3 Gain [3]

Gain didefinisikan sebagai rasio maximum dari intensitas radiasi antenna pada arah tertentu. Gain digunakan untuk menjelaskan performansi suatu antenna yang relatif terhadap antenna referensi. Gain relative ini didefinisikan sebagai rasio maksimum intensitas radiasi dari antenna U_m dari intensitas radiasi maksimum antenna $U_{m.ref}$ dengan input power yang sama

$$G_{ref} = \frac{U_m}{U_{m.ref}} \quad (2.11)$$

Jika antenna referensi yang digunakan adalah sebuah antenna isotropis maka dapat dikatakan antenna referensi memiliki intensitas radiasi yang maksimum karena semua input power diradiasikan.

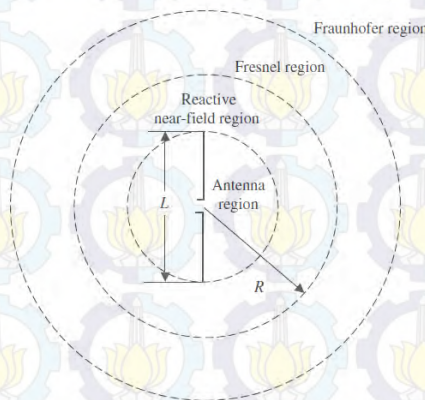
Gain memiliki satuan dB, gain relatif dengan sebuah dipole setengah gelombang memiliki satuan dBd dan memiliki hubungan dengan gain relatif terhadap antenna isotropis seperti yang ditunjukkan pada persamaan dibawah

$$G(\text{dBd}) = G(\text{dBi}) - 2,15 \quad (2.12)$$

Satuan gain terkadang dinotasikan dengan dBi untuk menekankan bahwa antenna referensi yang digunakan adalah antenna isotropis.

2.2.4 Daerah Medan Antena

Daerah medan di sekitar antenna umumnya dibagi menjadi empat bagian seperti pada Gambar 2.2, pembagian ini digunakan untuk identifikasi karakteristik medan di masing-masing daerah.



Gambar 2.3 Daerah medan antenna.

a) Daerah antenna (*antenna region*)

Antenna region merupakan daerah yang membatasi fisik antenna yang didefinisikan sebagai[4]:

$$R \leq \frac{L}{2} \quad (2.13)$$

Daerah medan dekat-reaktif (*reactive near-field*)

Reactive near-fields region didefinisikan sebagai bagian dari daerah medan dekat yang mengelilingi antena. Pada sebagian besar antena, batas terluar dari daerah ini berada pada:

$$R < 0.62 \sqrt{\frac{L^3}{\lambda}} \quad (2.14)$$

Dimana : λ = Panjang gelombang
 L = Dimensi antena

b) Daerah medan dekat-radiatif (*radiating near-field / Fresnel*)

Radiating near-field (Fresnel) region terletak diantara daerah *reactive near-fields* dan daerah *far-fields*. di mana medan radiasi dari antena mendominasi dan distribusi medan angular tergantung pada jarak dari antena. Jika antena memiliki dimensi yang tidak cukup besar jika dibandingkan dengan panjang gelombang, daerah ini kemungkinan tidak akan muncul. Batas daerah ini terukur pada:

$$0.62 \sqrt{\frac{L^3}{\lambda}} \leq R < \frac{2L^2}{\lambda} \quad (2.15)$$

c) Daerah medan jauh (*Fraunhofer*)

Far-field (Fraunhofer) region merupakan daerah medan antena di mana distribusi medan angularnya independen terhadap jarak dari sumber antena. Jika antena memiliki dimensi maksimum senilai D , maka batas terdekat dari daerah medan jauh berada di :

$$R > \frac{2L^2}{\lambda} \quad (2.16)$$

Persamaan di atas jika kondisi dimensi antena L bernilai lebih besar dari 2.5λ . Jika dimensi terbesar dari antenna lebih kecil dari λ , maka berlaku persamaan :

$$\text{Reactive nearfield} \quad R < \frac{\lambda}{2\pi} \quad (2.17)$$

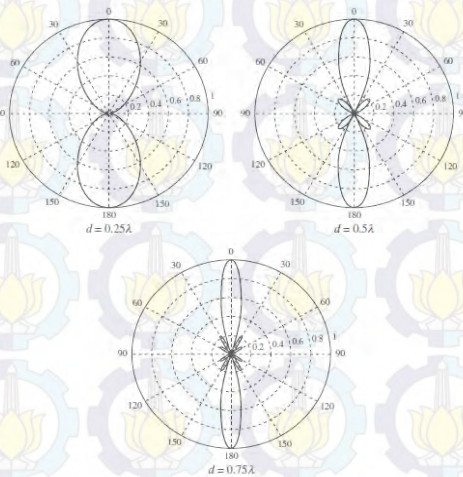
$$\text{Radiating near field} \quad \frac{\lambda}{2\pi} < R < 5\lambda \quad (2.18)$$

$$\text{Far-field} \quad R > 5\lambda \quad (2.19)$$

2.2.5 Broadside Linear Array[2]

Kondisi *broadside* dalam analisa antenna array berarti variabel pergeseran fasa α bernilai sama dengan nol. Pada kondisi ini, arus yang mengalir di seluruh elemen array memiliki pergeseran phase yang sama. Gambar 2.4 menunjukkan pola radiasi pada bidang polar untuk empat elemen array dengan jarak antar elemen d sebesar $0,25\lambda$, $0,5\lambda$, dan $0,75\lambda$.

Konfigurasi antenna array disebut sebagai *broadside array* karena pola radiasi maksimum yang terbentuk dari susunan elemen-elemen antenna berada pada arah broadside terhadap geometri antenna array. Pada gambar terlihat dua buah mainlobe karena *broadside array* simetrik terhadap sumbu $\theta = \pm\pi/2$. Meningkatnya spasi antar elemen array, akan menyebabkan geometri array bertambah panjang dan berakibat pada penurunan lebar mainlobe. Kondisi umum untuk pola radiasi antenna array adalah lebar mainlobe berbanding terbalik terhadap keseluruhan panjang geometri antenna array[2].



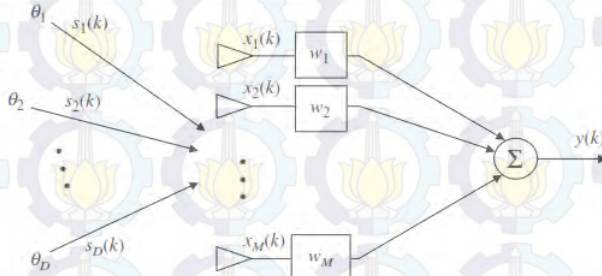
Gambar 2.4 *Broadside Array Linear* dengan 4 elemen

2.3 Matrix Korelasi Array [2]

Pada algoritma *angle of arrival* (AoA) sebagian besar membutuhkan nilai matrik korelasi array dalam perhitungan arah

kedatangan sinyal. Matrik korelasi array dianalisa menggunakan pemodelan sinyal array.

Gambar 2.5 menunjukkan D sinyal yang datang dari sejumlah D arah. Sinyal-sinyal tersebut kemudian diterima oleh M elemen array dengan bobot sejumlah M . Setiap sinyal $x_m(k)$ berisi derau (*noise*) Gaussian. Jumlah sampling dalam fungsi waktu dilakukan sebanyak k -sampling.



Gambar 2.5 M -elemen array dengan sinyal terima.

Keluaran array y dapat dinyatakan sebagai :

$$y(k) = \bar{w}^T \bar{x}(k) \quad (2.20)$$

dimana

$$\begin{aligned} \bar{x}(k) &= [\bar{a}(\theta_1) \quad \bar{a}(\theta_2) \quad \dots \quad \bar{a}(\theta_D)] \cdot \begin{bmatrix} s_1(k) \\ s_2(k) \\ \vdots \\ s_D(k) \end{bmatrix} + \bar{n}(k) \\ &= \bar{A} \cdot \bar{s}(k) + \bar{n}(k) \end{aligned} \quad (2.21)$$

dan

$$\bar{w} = [w_1 \quad w_2 \quad \dots \quad w_M]^T \quad (2.22)$$

Dimana:

$\bar{s}(k)$ = vektor sinyal kompleks monokromatik sebanyak k ;
 $\bar{n}(k)$ = vektor noise di setiap elemen array, dengan variasi σ_n^2 ;
 $\bar{a}(\theta_i)$ = *steering vector* pada M -elemen array;
 \bar{A} = $[\bar{a}(\theta_1) \quad \bar{a}(\theta_2) \quad \dots \quad \bar{a}(\theta_D)]$ $M \times D$ matrik *steering vector*
 $\bar{a}(\theta_i)$

Setiap D -sinyal kompleks yang datang pada arah θ_i dan diterima oleh M antena elemen. Hal ini dapat digunakan sebagai dasar analisa bahwa banyaknya sinyal yang dapat diterima oleh elemen array haruslah $D < M$.

Dapat dipastikan jika sumber sinyal bergerak, maka matrik yang berisi *steering vector* juga akan berubah dengan perubahan waktu dan sudut kedatangan terkait. Penyederhanaan notasi untuk analisa matrik korelasi \bar{R}_{xx} pada array $M \times M$ adalah :

$$\begin{aligned}\bar{R}_{xx} &= E[\bar{x} \cdot \bar{x}^H] = E[(\bar{A}\bar{s} + \bar{n})(\bar{s}^H \bar{A}^H + \bar{n}^H)] \\ &= \bar{A}E[\bar{s} \cdot \bar{s}^H]\bar{A}^H + E[\bar{n} \cdot \bar{n}^H] \\ &= \bar{A}\bar{R}_{ss}\bar{A}^H + \bar{R}_{nn}\end{aligned}\quad (2.23)$$

dimana $\bar{R}_{ss} = D \times D$ matrik korelasi sumber

$\bar{R}_{nn} = \sigma_n^2 \bar{I} = M \times M$ matrik korelasi noise

$\bar{I} = N \times N$ matrik identitas

Matrik korelasi \bar{R}_{xx} dan matrik korelasi sumber sinyal \bar{R}_{ss} diperoleh dengan menyatakan $\bar{R}_{xx} = E[\bar{x} \cdot \bar{x}^H]$ dan $\bar{R}_{ss} = E[\bar{s} \cdot \bar{s}^H]$. Jika tidak diketahui statistik pasti dari noise dan sinyal, namun proses estimasi dapat diasumsikan *ergodic*, maka pendekatan korelasi dapat menggunakan korelasi *time-averaged*. Pada kasus ini, matrik korelasi dapat didefinisikan sebagai :

$$\begin{aligned}\hat{R}_{xx} &\approx \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \bar{x}(k) \bar{x}^H(k) \\ \hat{R}_{ss} &\approx \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \bar{s}(k) \bar{s}^H(k) \\ \hat{R}_{nn} &\approx \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \bar{n}(k) \bar{n}^H(k)\end{aligned}\quad (2.24)$$

Matrik korelasi array juga disebut sebagai matrik *covariance*. Pernyataan ini benar jika nilai *mean* dari sinyal dan *noise* adalah nol. Pada kondisi ini, *covariance* dan matrik korelasi akan bernilai identik. *Mean* dari sinyal yang datang harus bernilai nol karena antena tidak dapat menerima sinyal d.c. Noise yang melekat di

penerima dimungkinkan untuk tidak bernilai nol tergantung pada sumber dari penerima noise.

Terdapat banyak informasi yang dapat ditemukan pada analisa-*eigen* (*eigen value* dan *eigen vector*) terhadap matrik korelasi array. Asumsi pembentukan matrik korelasi array dapat ditentukan dengan adanya M -array elemen dengan D -*narrowband* sumber sinyal dan noise yang tidak saling berkorelasi. Pertama, \bar{R}_{xx} merupakan $M \times M$ matrik Hermitian sehingga $\bar{R}_{xx} = \bar{R}_{xx}^H$. Matrik array korelasi memiliki M *eigenvalues* ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M$) dan M *eigenvectors* $\bar{E} = [\bar{e}_1 \bar{e}_2 \dots \bar{e}_M]$. Jika *eigenvalues* diurutkan dari nilai terkecil hingga terbesar, maka matrik \bar{E} dapat dibagi menjadi dua *subspace* $\bar{E} = [\bar{E}_N \bar{E}_S]$. *Subspace* pertama \bar{E}_N disebut sebagai *noise subspace* dan tersusun dari $M - D$ *eigenvectors* yang berkaitan dengan noise. Untuk noise *uncorrelated*, *eigenvalues* bernilai $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_{M-D} = \sigma_n^2$. *Subspace* kedua \bar{E}_S disebut sebagai *signal subspace* dan terdiri dari D *eigenvectors* yang berkaitan dengan sinyal yang datang. *Noise subspace* merupakan matrik $M \times (M - D)$ dan matrik *signal subspace* berdimensi $M \times D$.

Tujuan dari estimasi DoA adaah untuk mendefinisikan fungsi yang mengindikasikan sudut kedatangan berdasarkan *maxima* dengan dibandingkan dengan sudut. Fungsi ini umumnya disebut dengan *pseudospectrum* $P(\theta)$ dengan satuan energi atau watt (dapat juga dinyatakan dalam *watts-squared* (watt^2)).

2.4 Algoritma MUSIC

Algoritma MUSIC (*Multiple Signal Classification*) bekerja berdasarkan pada pemanfaatan dari *eigenstructure* sinyal datang. Algoritma MUSIC bekerja berdasarkan asumsi bahwa noise pada setiap kanal adalah tidak berkorelasi.

Pada Algoritma MUSIC, terlebih dahulu perlu diketahui jumlah sinyal yang datang pada antenna penerima. Bila jumlah sinyal adalah D , maka noise ada pada *eigenvalue* dan *eigenvector*, maka algoritma ini disebut sebagai metode *subspace*.

Matrik kovarian R_{xx} dapat diperoleh dengan mengasumsikan noise tidak berkorelasi dengan varian yang sama, yaitu

$$R_{xx} = E[xx^H] = E[ss^H]A^H + E[nn^H] \quad (2.25)$$

$$R_{xx} = AR_{ss}A^H + \sigma_n^2 I \quad (2.26)$$

Dengan R_{ss} adalah matrik korelasi sinyal $E[ss^H]$. Biasanya matrik kovarian dari sinyal yang diterima tidak tersedia, oleh karena itu sebagai gantinya pada penerapan algoritma MUSIC digunakan sample dari matrik kovarian berikut :

$$R_{xx} = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} x_k x_k^H \quad (2.27)$$

Berikutnya dilakukan proses dekomposisi guna memperoleh nilai eigenvalue dan eigenvector bagi R_{xx} yaitu:

$$R_{xx}v = v\Lambda \quad (2.28)$$

Dimana $\Lambda = \text{diag} \{\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{M-1}\}$, $\lambda_0 \geq \lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_{M-1}$ yang merupakan nilai eigenvalue dan $v = [q_D q_{D+1} \dots q_{M-1}]$ adalah nilai eigenvector dari matrik kovarian R_{xx} terdiri dari dua subspace yang saling tegak lurus (orthogonal) yaitu signal subspace SS dan noise subspace NN. Noise subspace NN dapat diperoleh dengan membentuk matrik berikut:

$$NN = [q_D q_{D+1} \dots q_{M-1}] \quad (2.29)$$

Nilai eigenvector dari noise subspace NN adalah tegak lurus terhadap arraysteering vector A pada sudut datang $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_D$. Nilai dari pseudospektrum algoritma MUSIC, dimana Pseudospektrum merupakan spektrum yang dibentuk oleh suatu persamaan untuk mempermudah menganalisa atau memahami sifat tertentu dari suatu persamaan atau nilai matrik. Nilai P_{MUSIC} dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{\text{MUSIC}}(\theta) = \frac{1}{A^H NN \cdot NN^H A} \quad (2.30)$$

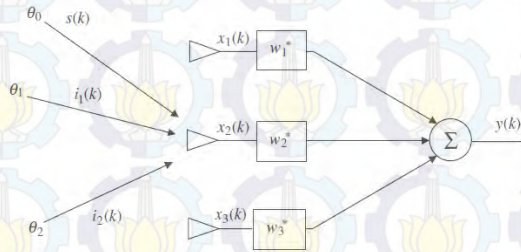
Dimana

A = steering vector yang dibangkitkan dari tiap-tiap sudut (0° hingga 180°)

NN = matrix dari noise subspace.

2.5 Algoritma *Maximum Signal to Interference Ratio* [2]

Algoritma *Maximum SIR* merupakan salah satu algoritma beamforming yang selain dapat mengarahkan beam juga dapat menekan sinyal interferensi yang tidak diinginkan. Pada gambar dibawah terdapat 3 elemen array dengan satu sumber tetap yang diinginkan dan dua interferensi tetap yang diasumsikan dioperasikan pada frekuensi pembawa yang sama. Sehingga persamaan nilai array vektornya seperti pada persamaan 9 dibawah



Gambar 2.6 Elemen array dengan sinyal yang diinginkan dan sinyal interferer

$$\bar{a} = [e^{-jkd \sin \theta} \quad 1 \quad e^{jkd \sin \theta}]^T \quad (2.31)$$

Dan *output* total array secara umum adalah

$$y = \bar{w}^H \cdot \bar{a} = w_1 e^{-jkd \sin \theta} + w_2 + w_3 e^{jkd \sin \theta} \quad (2.32)$$

Dimana

Kondisi 1 $y_s = 1$

Kondisi 2 $y_1 = 0$

Kondisi 3 $y_2 = 1 = 0$

Kondisi 1 mengharuskan nilai $y_s = 1$ untuk sinyal yang diinginkan diterima tanpa dimodifikasi. Kondisi 2 dan 3 menolak sinyal interferensi yang tidak diinginkan. Untuk bobot kompleks yang dibutuhkan w_1, w_2, w_3 dapat ditentukan pada persamaan berikut

$$\bar{w}^H = \bar{u}_1^T \cdot \bar{A}^{-1} \quad (2.33)$$

Dimana $\bar{A} = [\bar{a}_0 \bar{a}_1 \bar{a}_2] =$ Matrik *steering vectors*
 $\bar{u}_1 = [1 \ 0 \ \dots \ 0]^T =$ *Caertesian basic vector*

Bobot daya output array dari sinyal yang diinginkan dapat dihitung dengan

$$\sigma_s^2 = E [|\bar{w}^H \cdot \bar{x}_s|^2] = \bar{w}^H \cdot \bar{R}_{ss} \cdot \bar{w} \quad (2.34)$$

Dimana $\bar{R}_{ss} = E[\bar{x}_s \bar{x}_s^H] =$ Matrik *signal correlation*

Bobot daya output array dari sinyal yang tidak diinginkan dapat dihitung dengan

$$\sigma_u^2 = E [|\bar{w}^H \cdot \bar{u}|^2] = \bar{w}^H \cdot \bar{R}_{uu} \cdot \bar{w} \quad (2.35)$$

Sehingga dapat ditunjukkan bahwa

$$\bar{R}_{uu} = \bar{R}_{ii} + \bar{R}_{nn} \quad (2.36)$$

Dimana $\bar{R}_{ii} =$ Matrix korelasi untuk interferensi
 $\bar{R}_{nn} =$ Matrix korelasi untuk noise

SIR dapat digambarkan sebagai rasio daya sinyal yang diinginkan dibagi dengan daya sinyal yang tidak diinginkan.

$$SIR = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_u^2} = \frac{\bar{w}^H \cdot \bar{R}_{ss} \cdot \bar{w}}{\bar{w}^H \cdot \bar{R}_{uu} \cdot \bar{w}} \quad (2.37)$$

Nilai SIR dapat dimaksimalkan dengan meningkatkan atau mengkonsentrasikan pada \bar{w} dan menjadikannya sama dengan nol. Maximum SIR (SIR_{max} .) sama dengan *eigenvalue* terbesar dari λ_{max} untuk matrik Hermitian dari $\bar{R}_{uu}^{-1} \bar{R}_{ss}$.

$$\bar{R}_{uu}^{-1} \bar{R}_{ss} \cdot \bar{w}_{SIR} = \lambda_{max} \cdot \bar{w}_{opt} = SIR_{max} \cdot \bar{w}_{SIR} \quad (2.38)$$

Dapat diekspresikan bobot vektor dalam persamaan optimum Wiener adalah sebagai berikut

$$\bar{w}_{SIR} = \beta \cdot \bar{R}_{uu}^{-1} \cdot \bar{a}_0 \quad (2.39)$$

Dimana

$$\beta = \frac{E[|s|^2]}{SIR_{max}} \bar{a}_0^H \cdot w_{SIR} \quad (2.40)$$

2.6 Propagasi Gelombang Pada *Free Space* [3]

Jika antenna mengirimkan sinyal pada daerah *free space* (tanpa halangan), maka antenna tersebut memiliki variabel G_T pada arah antenna penerima, kerapatan daya (*power density*), yang didefinisikan sebagai daya per unit area, pada jarak d di arah yang diinginkan dirumuskan sebagai:

$$W = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \quad (2.41)$$

Daya terima di antenna penerima, dengan aperture antenna penerima sebesar A adalah

$$\begin{aligned} P_R &= \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} A \\ &= \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \left(\frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} \right) \end{aligned} \quad (2.42)$$

di mana G_R merupakan penguatan di antenna penerima dan λ adalah panjang gelombang dari perhitungan frekuensi f dan kecepatan cahaya c ($c = f\lambda$). Selanjutnya dapat dinyatakan sebagai fungsi perbandingan daya terima terhadap daya pancar sebagai berikut.

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2.43)$$

Persamaan tersebut merupakan pokok dari persamaan matematis dari *free space* atau *Friss equation*.

Redaman propagasi (*path loss*) umumnya dianalisa dalam bentuk logaritmik dari persamaan yang dapat dituliskan sebagai

$$L_F(dB) = 10 \log_{10}(P_T/P_R) \quad (2.44)$$

$$= -10 \log_{10} G_T - 10 \log_{10} G_R + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} d + k$$

di mana

$$k = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{3 \times 10^8} \right) = -147,56 \quad (2.45)$$

maka dengan pendekatan *path loss* L_B di antara antenna isotropis diperoleh

$$L_B(dB) = 32.44 + 20 \log_{10} f_{MHz} + 20 \log_{10} d_{km} \quad (2.46)$$

Jika antenna penerima terhubung dengan penerima yang sepadan impedansinya, maka antenna penerima akan menerima daya sebesar P_R . Daya derau (*noise*) dituliskan sebagai kTB , sehingga nilai *signal-to-noise ratio* (SNR) di masukan penerima sebesar

$$SNR_i = \frac{P_R}{kTB} = \frac{P_T G_T G_R}{kTB} \left(\frac{c}{4\pi f d} \right)^2 \quad (2.47)$$

Jika *noise figure* pada penerima sepadan adalah F , maka nilai SNR di sisi keluaran penerima adalah

$$SNR_o = \frac{SNR_i}{F} \quad (2.48)$$

pada analisa logaritmik dapat dituliskan sebagai

$$(SNR_o)_{dB} = (SNR_i)_{dB} - F \quad (2.49)$$

Analisa terhadap variabel *noise figure* F jika pada sisi penerima terdapat susunan seri beberapa komponen dapat dijabarkan melalui contoh ilustrasi Gambar 2. Jika terdapat dua susunan amplifier dengan penguatan masing-masing G_1 dan G_2 , bandwidth B , suhu noise efektif T_{e1} dan T_{e2} , sinyal masukan S_{in} dan noise *input* N_{in} .



Gambar 2.7 Blok penguatan bertingkat [3]

maka persamaan sinyal keluar dari amplifier pertama adalah:

$$\begin{aligned} S_1(dB) &= G_1 S_{in} + G_1 N_{in} + G_1 kTB \\ &= G_1 S_{in} + G_1 kT_0 BF_1 \end{aligned} \quad (2.50)$$

dan keluaran dari amplifier ke dua:

$$S_2(dB) = G_1 G_2 S_{in} + G_1 G_2 kT_0 BF_1 + G_2 kT_0 BF_2 \quad (2.51)$$

Jika F merupakan perbandingan dari SNR_i terhadap SNR_o dan dengan mensubstitusikan seluruh parameter ke dalam persamaan (2.49) diperoleh total *noise figure*

$$F_{total} = F_1 + \frac{F_2}{G_1} \quad (2.52)$$

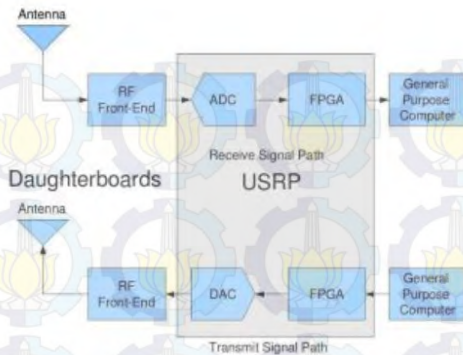
Jika lebih dari dua komponen, maka berlaku:

$$F_{total} = F_1 + \frac{F_2}{G_1} + \frac{F_3}{G_1 G_2} + \frac{F_4}{G_1 G_2 G_3} + \dots \quad (2.53)$$

2.7 Universal Software Radio Peripheral (USRP)[5]

USRP adalah salah satu platform yang umum digunakan dalam penerapan SDRadar. Saat ini, USRP didukung oleh beberapa perangkat lunak sebagai antarmukanya. Beberapa diantaranya adalah LabView, Matlab/ Simulink, dan GNU Radio.

USRP terdiri atas *motherboard* dan *daughterboard*. Secara garis besar, motherboard USRP terdiri atas FPGA yang menjalankan fungsi sebagai Digital Up Converter (DUC) dan Digital Down Converter (DDC), Analog to Digital Converter (ADC) dan Digital to Analog Converter (DAC) untuk melakukan konversi sinyal analog ke digital dan sebaliknya, serta menyediakan antarmuka untuk berkomunikasi dengan host PC. Saat ini, motherboard USRP mendukung frekuensi kerja 0 Hz (DC) s/d 6 GHz. Daughterboard ditujukan sebagai RF front end yang menentukan rentang frekuensi kerja radio yang dapat digunakan. Secara umum, daughterboard terdiri atas filter, mixer, dan amplifier yang berfungsi mengolah sinyal analog. Gambar 3 menunjukkan diagram blok SDRadar dengan menggunakan USRP.



Gambar 2.8 Diagram Blok SDR USRP[5]

Meskipun karakteristik dan spesifikasi dari setiap model USRP berbeda, namun semua perangkat USRP menggunakan arsitektur umum yang sama. Dalam beberapa kasus, RF front end, mixer, filter, oscillator, dan amplifier harus mentranslasikan sinyal dari domain RF dan baseband kompleks atau sinyal IF. Baseband sinyal IF di-sampling oleh ADC dan sample digital di-clocked kedalam FPGA. FPGA yang sudah dilengkapi dengan FPGA image, melakukan fungsi digital down conversion yang sudah termasuk fine-frequency tuning dan beberapa filter untuk proses decimasi. Setelah decimasi, raw sample atau data lainnya dialirkan ke host PC melalui antarmuka host. Proses sebaliknya berlaku pada rantai pengiriman.

2.7.1 *Bandwidth* USRP

Bandwidth perangkat USRP berbeda pada setiap titik dalam rantai sinyal. Tiga tipe dari spesifikasi bandwidth adalah bandwidth analog, bandwidth pemrosesan FPGA, dan bandwidth host. Perlu diperhatikan, bahwa *bandwidth* analog harus lebih kecil dari sample rate ADC/ DAC. *Bandwidth* sistem dalam aplikasi USRP ditentukan oleh *bandwidth* terkecil dari ketiga istilah *bandwidth* tersebut.

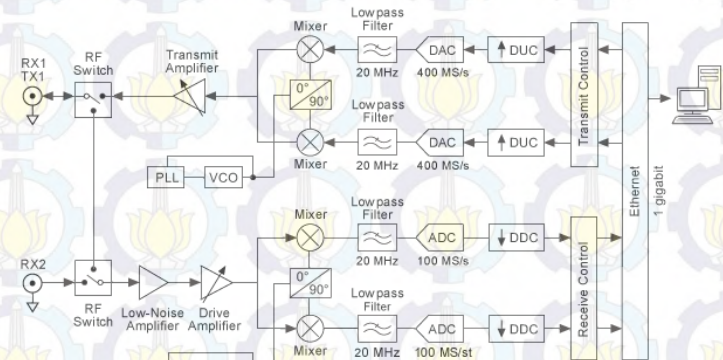
Bandwidth analog adalah besarnya *bandwidth* yang digunakan (3 dB) antara port RF dan antarmuka IF/ baseband. *Bandwidth* analog diatur oleh *filter* IF atau baseband pada *daughterboard*, yang didesain untuk menghindari aliasing ketika dipasangkan dengan *motherboard* USRP dengan sample rate ADC/ DAC tertentu.

Bandwidth pemrosesan FPGA adalah besarnya *sample rate* yang disediakan oleh ADC dan DAC pada *motherboard* USRP. *Bandwidth* ini menyatakan *bandwidth* digital maksimum pada sistem USRP.

Antarmuka host memungkinkan terjadinya aliran data antara FPGA pada perangkat USRP dengan *host* PC. Pada umumnya, aliran data dari dan ke USRP adalah dalam bentuk aliran data I/Q, dengan kecepatan aliran dinyatakan dalam IQ *sample rate*. Dalam konteks perangkat USRP mendukung komunikasi *full duplex*, berarti bahwa antarmuka bisa mengalirkan data dalam dua arah dengan kecepatan tertentu secara bersamaan. Hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa unjuk kerja aliran data aktual akan tergantung pada kemampuan pemrosesan *host* PC, kompleksitas aplikasi atau Digital Signal Processing (DSP), dan faktor lainnya.

2.7.2 Motherboard USRP NI-2922

USRP NI-2922 merupakan bentuk paket penjualan USRP yang terdiri atas motherboard USRP N210 dan daughterboard SBX. Gambar menunjukkan diagram blok USRP NI-2922, sedangkan gambar menunjukkan bagian dalam perangkat USRP NI-2922 yang terdiri atas motherboard N210 dan daughterboard SBX. Spesifikasi USRP NI-2922 ditampilkan pada tabel



Gambar 2.9 Diagram blok USRP NI-2922

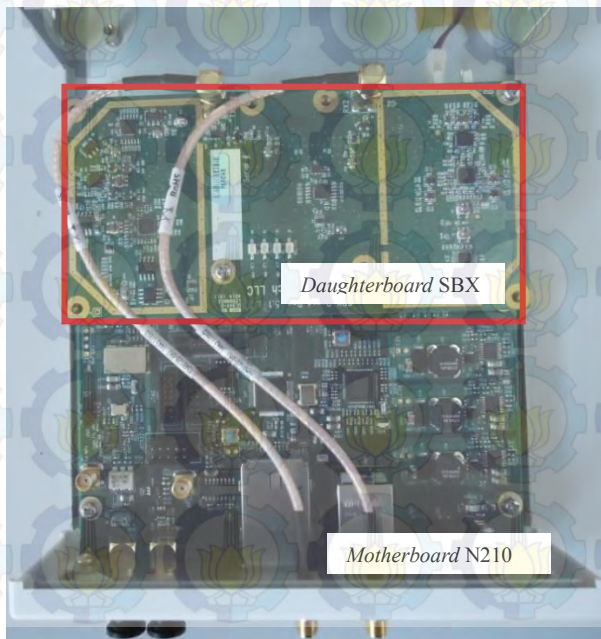
2.7.3 Motherboard USRP N210

USRP seri Networked adalah tipe USRP yang menggunakan ethernet untuk berkomunikasi dengan host PC. Pada seri N210, interface yang digunakan adalah Gigabit Ethernet untuk melakukan transfer data dengan sample rate maksimum 50 MS/s dengan kedalaman 8 bit dan 25 MS/s untuk kedalaman 16 bit. USRP N210 juga mendukung komunikasi full duplex dengan host PC. Sedangkan untuk sample rate ADC adalah 100 MS/s dan DAC 400 MS/s.

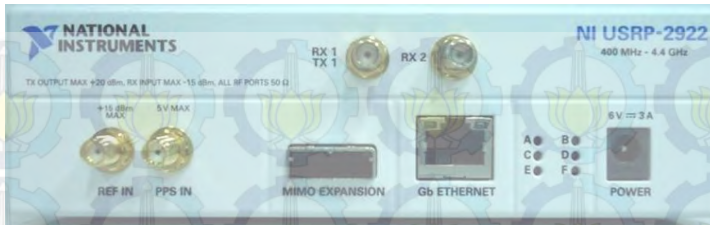
Tabel 2.1 Spesifik USRP

<i>Spesification</i>	<i>Typical Value</i>	<i>Unit</i>
Power		
DC Input	6	V
Current Consumption	1,3	A
Conversion Performance and Clock		
ADC Sample Rate	100	MS/s
ADC Resolution	14	Bits
ADC Wideband SFDR	88	dBc
DAC Sample Rate	400 MS/s	MS/s
DAC Resolution	16	Bits
DAC Wideband SFDR	80	dBc
IQ Sampling Rate (8b/16b)	50 Full Duplex/25 Full Duplex	MS/s
Clock Type	TCXO	
Frequency Accuracy	2,5	Ppm
Frequency Accuracy w/ GPSDO Reference	0,01	Ppm
Transmitter RF Performance		
Tx Maximum Output Power	17 - 20	dBm
SW Adjustable Tx Frequency Step	< 1	kHz
Tx Output Power Gain Range	0 - 30	dB
SW Adjustable Output Gain Step Size	1	dB
Instantaneous Real Time Bandwidth (8b/16b)	20/40	MHz
Receiver RF Performance		
Rx Maximum Input Power	0	dBm
Software Adjustable Rx Frequency Step	< 1	kHz

<i>Tx Output Power Gain Range</i>	0 - 31,5	dB
<i>SW Adjustable Output Gain Step Size</i>	0,5	dB
<i>Instantaneous Real Time Bandwidth (8b/16b)</i>	20/40	Mhz
<i>Noise Figure</i>	5 - 7	dB
Connections		
<i>TX1/RX1,RX2 Port</i>		-
<i>Ethernet Connection</i>		-
<i>Ref Clock (10-MHz external reference input)</i>	SMA, 3 – 5 V TTL Compatible	-
<i>MIMO Expansion Port</i>	High – Speed SerDes protocol	-
Physical		
<i>Operating Temperature</i>	0° – 55°	C
<i>Dimensions (l x w x h)</i>	21 x 16 x 5	Cm
<i>Weight</i>	1,2	Kg



Gambar 2.10 Bagian dalam USRP NI-2922



Gambar 2.11 Panel depan USRP NI-2922

2.7.4 Daughterboard SBX

Daughterboard SBX mendukung cakupan frekuensi radio (RF) dari 400 MHz sampai dengan 4,4 GHz dengan *bandwidth* analog maksimum 40 MHz. SBX mendukung komunikasi *full duplex* karena dilengkapi dengan dua unit *local oscillator* yang saling independen untuk masing-masing pengirim dan penerima [14].

Pada SBX terdapat dua *port* untuk antenna, yaitu port TX/RX, yang dapat difungsikan sebagai pengirim atau penerimaan sinyal serta *port* RX2 hanya dapat digunakan sebagai penerima sinyal. Penguatan (*gain*) pengirim dan penerima dapat diatur melalui perangkat lunak dengan rentang penguatan 0 – 31 dB pada sisi pengirim dan 0 – 31,5 dB pada sisi penerima.

2.7.5 Daya Pancar USRP[7]

USRP adalah perangkat yang tidak terkalibrasi, sehingga nilai *gain* pancar (Tx) yang diatur melalui perangkat lunak tidak terkait langsung dengan level daya *output*, P_{out} USRP. Selain itu, besarnya daya *output* berbeda dengan pada setiap frekuensi radio yang digunakan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran daya *output* USRP pada frekuensi yang akan digunakan, yaitu frekuensi radio 2,4 GHz. Tabel menunjukkan hasil pengukuran daya *output* USRP NI-2922 pada frekuensi 2,4 GHz dengan *variable gain* pancar. Sensitivitas daya USRP dari hasil pengukuran diketahui sebesar -100 dBm.

Tabel 2.2 Daya *output* USRP NI-2922 pada frekuensi 2,4GHz dengan variable *gain* pancar.

Gain Tx (dB)	P_{out} (dBm)	Gain Tx (dB)	P_{out} (dBm)
0	-5,72	16	9,21
1	-4,96	17	10,29
2	-3,82	18	11,21
3	-2,93	19	12,34
4	-2,29	20	13,05
5	-1,28	21	14,20
6	-0,44	22	15,11
7	0,68	23	16,27
8	1,59	24	17,42
9	2,66	25	18,33
10	3,53	26	18,94
11	4,57	27	19,66
12	5,22	28	20,00
13	6,32	29	20,44
14	7,22	30	20,46
15	8,31	31	20,49

2.8 Perangkat Lunak MATLAB dan LABVIEW[8]

Matlab (*Matrix Laboratory*) merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh The Mathwork Inc. Matlab merupakan bahasa pemrograman level tinggi yang dikhususkan untuk kebutuhan komputasi teknis, visualisasi dan pemrograman seperti komputasi matematik, analisis data, pengembangan algoritma, simulasi dan pemodelan dan grafik-grafik perhitungan. Matlab telah mendukung untuk diterapkan bersama USRP sebagai perangkat lunak pengolahan data melalui Simulink yang merupakan salah satu fitur pada Matlab.

LabView (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) adalah perangkat lunak komputer untuk pengolahan dan visualisasi data dalam bidang akuisisi data, kendali instrumentasi serta otomasi industri. Berbeda dengan Matlab yang berbasis teks, LabVIEW menggunakan grafis untuk merepresentasikan setiap fungsi pemrogramannya, yang disebut dengan Virtual Instrument. LabVIEW menggunakan icon yang saling terhubung untuk

merepresentasikan fungsi dan menjelaskan aliran data didalam program yang dibangun.

LabVIEW mendukung pengaturan dan pemrograman perangkat keras USRP dengan menggunakan fungsi tambahan yang terdapat pada *toolbox* NI-USRP Instrumen Driver. NI-USRP Instrumen Driver terdiri atas fungsi untuk melakukan pengaturan USRP, sinkronisasi dan fungsi lainnya.



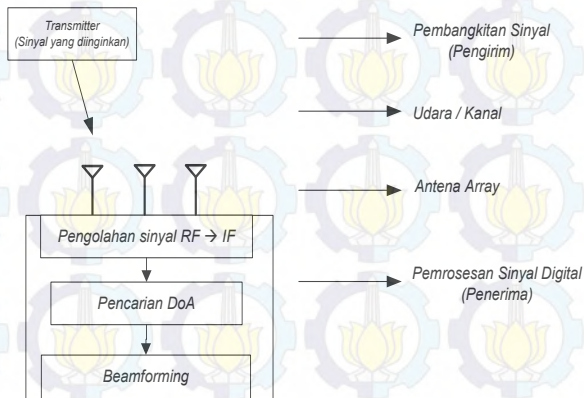
BAB 3

PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini, dibahas mengenai simulasi dan perancangan sistem *smart antenna*. Dimulai dari perancangan perangkat perangkat yang dibutuhkan, perhitungan daerah medan antenna, power link budget jaringan, perancangan algoritma dan simulasi sistem pada Matlab dan LabVIEW.

3.1 Perancangan Umum Sistem

Sistem *smart antenna* dirancang sesuai dengan blok sistem pada Gambar 3.1. Sinyal dibangkitkan pada blok *transmitter* dan sinyal digital diproses pada blok *receiver*, keseluruhan blok dirancang dengan menggunakan LabVIEW.

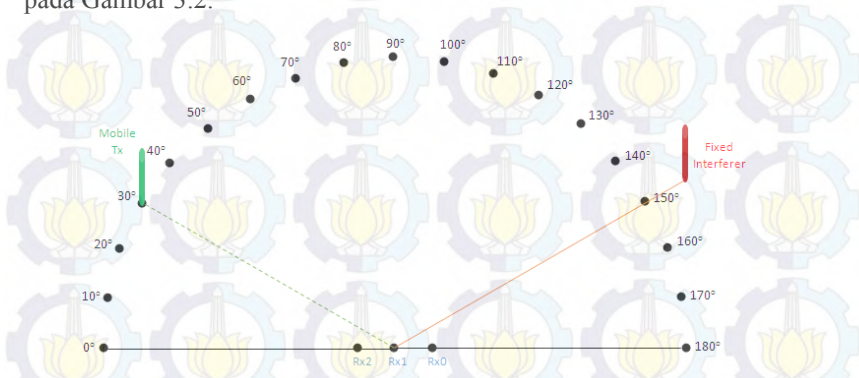


Gambar 3.1 Blok sistem *testbed Smart Antenna*.

Pada sistem ini akan dilakukan deteksi sudut arah kedatangan. Pada perancangan sistem, Algoritma MUSIC digunakan untuk DoA dan Algoritma *Maximum SIR* digunakan untuk *beamforming*. Cara kerja dari sistem ini adalah algoritma MUSIC akan melakukan deteksi arah kedatangan sinyal untuk memperoleh nilai sudut sinyal yang dideteksi, kemudian nilai sudut yang telah diperoleh akan digunakan pada Algoritma *Maximum SIR* untuk dilakukan *beamforming* atau pengarahannya *main beam* antenna pada arah sudut sinyal yang diinginkan dan mengemulikan beam pada arah interferensi. Jumlah sinyal yang dideteksi

harus kurang dari jumlah elemen antena array, jika jumlah elemen antena array didefinisikan sebagai M elemen dan jumlah sinyal sebagai P , maka M harus lebih besar dari P .

Sistem ini dirancang dengan kemampuan deteksi sudut bergerak. Dimana sudut bergerak dari sudut 0° sampai dengan 180° . Deteksi sudut bergerak hanya dilakukan pada sinyal yang diinginkan sedangkan interferer berada pada posisi diam (*fixed*) pada satu sudut tertentu. Hal itu untuk memudahkan beamforming sinyal dimana arah beam penerima akan difokuskan pada sinyal yang diinginkan dan menguiklkan sudut interferer. Bentuk skenario lintasan arah pergerakan sinyal dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar3.2 Skenario lintasan arah pergerakan sinyal.

3.2 Deskripsi Perangkat

Perangkat yang digunakan meliputi perangkat lunak dan perangkat keras, baik untuk melakukan simulasi maupun perancangan algoritma.

3.2.1 Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan adalah Matlab untuk melakukan simulasi dan membangun sub sistem pengolahan data serta LabVIEW untuk membangun sub sistem pengukuran dan akuisisi data. Berikut spesifikasi perangkat lunak yang digunakan.

1. Matlab
 - Versi : R2014 x 86
 - Toolbox : *Signal Processing Toolbox*
 - DSP System Toolbox*
 - Communication Sytem Toolbox*

2. LabVIEW
 - Versi : 13.0 (32 bit)
 - Toolbox : NI-USRP *Instrument Driver* 14.0
Signal Processing Toolbox
Modulation Toolbox

3.2.2 Perangkat Keras

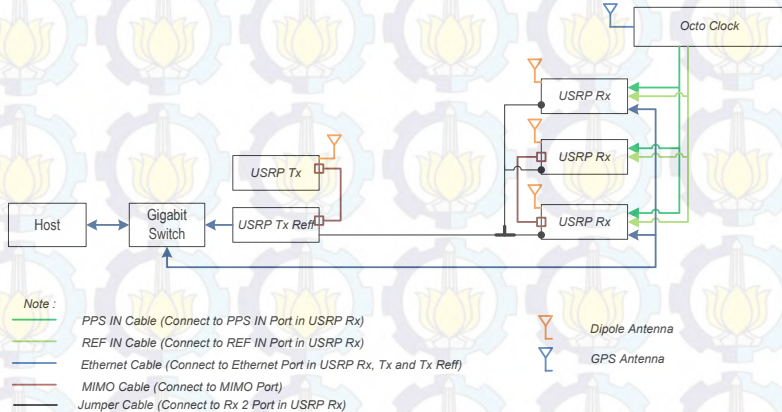
Spesifikasi dari beberapa perangkat keras yang digunakan untuk membangun sistem *Smart Antenna* adalah sebagai berikut.

1. Laptop (*host*)
 - Tipe : Asus A43E
 - Sistem Operasi : Windows 7 Professional (32-bit)
 - Processor : Intel(R) Core(TM) i3-2350M
CPU @ 2.30GHz
 - Memory : 2048 MB RAM
 - Ethernet card : Atheros AR8151 PCI-E Gigabit Ethernet
 - Jumlah : 1 buah
2. Perangkat *software Define Radio* (SDR)
 - Tipe : NI USRP N2922
(Ettus Research N210+SBX)
 - Motherboard : Ettus Research N210
 - Daughterboard : SBX
 - Jumlah : 5 buah
3. Perangkat *Integrated Timing Source*
 - Tipe : Ettus Research™ Octoclock-G
 - Sumber *Clock* : Internal GPSDO
 - Output : - 10 MHz *waveform (square wave)*
- PPS *waveform* (pulsa)
 - Jumlah : 1 buah
4. Antena Dipole
 - Tipe : VERT2450 Dipole *Dual-Band*
 - Frekuensi kerja : 2.4 - 2.5 GHz dan 4.9 - 5.9 GHz
 - Gain : 3 dBi
 - Pola Radiasi : Omnidirectional
 - Polarisasi : Vertikal
 - Impedansi : 50 Ω
 - Daya Maksimal : 50 W
 - VSWR : < 2:1
 - Dimensi : 7.79"
 - Jumlah : 4 buah

5. GPS Antenna
 - Tipe : GPS *Active Outdoor Antenna*
 - Frekuensi kerja : 1575,42 MHz
 - Tegangan : 3~5 Volt
 - Polarisasi : Circular (RH)
6. Gigabit Ethernet Switch
 - Tipe : TP-Link Gigabit Desktop Switch (TL-SG1008D)
 - Jumlah Port : 8 Port
 - Jumlah : 1 buah
7. Konektor
 - Tipe : Konektor T SMA Male-Female-Female
 - Jumlah : 1 buah
8. *Jumper*
 - Tipe : Coaxial RG-58A/U
 - Konektor : SMA Male – Male
 - Redaman : 18,1 dB/100 ft
9. Kabel MIMO
 - Tipe : Ettus ReseachTM
 - Jumlah : 2 buah
10. Kabel Ethernet
 - Tipe : Gigabit Ethernet
 - Jumlah : 4 buah
11. RF *Amplifier*
 - Frekuensi : 2400 – 2500 MHz
 - Transmit *gain* : 17 dB (*typical*)
 - Noise *figure* : 11 dB (*typical*)
 - Input *Trigger* : min. 3 dBm, max. 20 dBm

Konfigurasi sistem *smart antenna* dari seluruh perangkat keras yang telah disebutkan dapat dilihat pada Gambar 3.3. Pada sisi penerima digunakan 2 buah USRP yang berfungsi sebagai USRP Tx dan USRP Tx-Reference, dimana kedua USRP tersebut dihubungkan dengan kabel MIMO untuk sinkronisasi antar USRP. Kemudian pada sisi pengirim juga terhubung pada Host PC dimana pada Host PC ini digunakan program Lab VIEW sebagai program *interface* sistem pengirim dan penerima yang telah dirancang agar dapat berjalan pada USRP. Pada sisi penerima digunakan 3 buah USRP yang masing-masing USRP terhubung pada Octo Clock sebagai sinkronisasi antar USRP penerima.

Pada sisi penerima juga terhubung pada Host PC, pengirim dan penerima terhubung dengan Host PC dengan menggunakan Gigabit Ethernet Switch.



Gambar 3.3 Konfigurasi perangkat sistem *smart antenna*

3.3 Perhitungan Karakteristik Sistem

Pada perhitungan karakteristik sistem dilakukan dua perhitungan yaitu *power link budget* dan medan jauh antenna. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan parameter yang tercantum pada datasheet perangkat maupun penelitian sebelumnya.

3.3.1 Simulasi Polaradiasi Antena

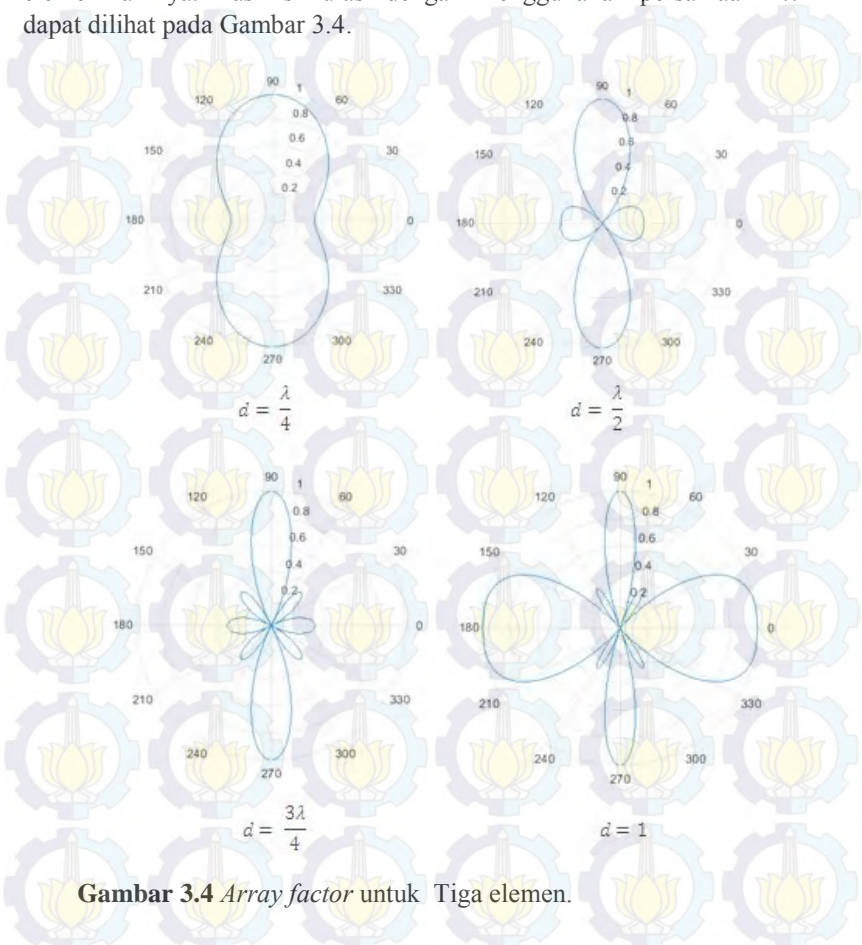
Simulasi untuk mengetahui polaradiasi antena dilakukan dengan bantuan software Matlab untuk mempermudah perhitungan. Dalam menentukan polaradiasi antena yang dirancang menggunakan persamaan array factor pada persamaan 2.7. Parameter – parameter yang digunakan tetap sama seperti pada penjelasan sebelumnya, yaitu:

Jumlah elemen = 3

Beda fasa antar elemen = 0°

Digunakan jarak antar elemen yang berbeda sehingga diperoleh beberapa polaradiasi sehingga memudahkan dalam menentukan jarak antar elemen yang terbaik untuk digunakan. Jarak antar elemen yang

disimulasikan antara lain $\lambda/4$, $\lambda/2$, $3\lambda/4$ dan λ untuk mewakili jarak antar elemen lainnya. Hasil simulasi dengan menggunakan persamaan 2.7 dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 *Array factor* untuk Tiga elemen.

Spasi elemen sangat mempengaruhi pola beamforming pada antenna array, jika spasi antar elemen lebih kecil dari $\lambda/2$ maka beam yang terbentuk akan melebar dan berpotensi mengganggu antenna yang lainnya, sedangkan jika spasi antar elemen lebih besar dari $\lambda/2$ maka akan terbentuk grating lobe yang besarnya hampir sama dengan main lobe sehingga dapat mengakibatkan perubahan pola radiasi yang

diinginkan. Sehingga untuk menjaga agar pola radiasi antenna sesuai dengan yang diinginkan maka lebih baik digunakan spasi antar elemen sebesar $\lambda/2$.

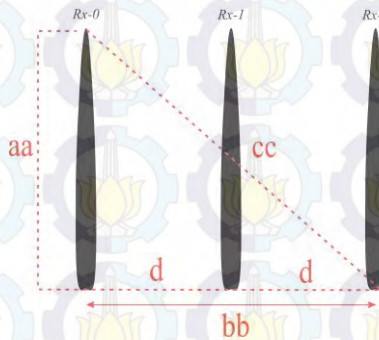
3.3.2 Perancangan Daerah Medan Antena

Pada pengukuran dengan menggunakan antenna *array* dilakukan dengan kondisi sumber sinyal berada di daerah medan jauh agar sinyal yang datang pada tiap elemen *array* dapat dinyatakan sebagai gelombang datar (*Plane wave*) sehingga jarak antara sinyal dengan semua elemen array berada pada jarak sama sehingga beda fase antar elemen array dapat dinyatakan sebagai nol.

Pada sistem ini digunakan frekuensi 2,4 GHz sesuai dengan spesifikasi perangkat yang digunakan sehingga diperoleh λ sebesar:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2,4 \times 10^9} = 0,125 \text{ m}$$

Untuk perhitungan dimensi antenna dapat dilihat pada Gambar 3.5 dibawah.



Gambar 3.5 Dimensi antenna array

Keterangan gambar :

aa	: Tinggi antenna dipole	= 0,1978 m
d	: Spasi antar elemen Rx = $\lambda/2$	= 0,0625 m
bb	: Jarak dari Rx-0 sampai Rx-3	= 0,125 m
cc	: Diagonal Antena dari titik puncak Rx-0 ke titik dasar Rx-2	= 0,234 m

Nilai dimensi terbesar diagonal antenna D sebesar 0,234 m dan λ 0,125m digunakan pada persamaan 2.17 hingga 2.19, perhitungan daerah medan akan menghasilkan nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Reactive near-field} & R < 0,1543m \\ \text{Radiating near-field} & 0,1543m < R < 0,8764m \\ \text{Far-field} & R > 0,8764m \end{aligned}$$

Sehingga nilai medan jauh antara antenna pengirim dengan penerima yang harus dipenuhi adalah lebih 0,8764 m

3.3.3 Perancangan Power Link Budget

Perancangan *Power link budget* digunakan untuk menentukan apakah daya yang diterima pada receiver masih sesuai dengan sensitivitas perangkat USRP. Nilai parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter *Power Link Budget*

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Frekuensi kerja	f	2,4	GHz
Panjang gelombang	λ	0,125	M
Jarak link propagasi	d_{Tx-Rx}	0,8764	M
Daya pancar USRP	P_o	3,53	dBm
Sensitivitas penerima	P_{Rmin}	-100	dBm
Panjang <i>jumper</i> di pengirim	l_T	2,5	M
Panjang <i>jumper</i> di penerima	l_R	1,5	M
Penguatan USRP pengirim	G_{T-usrp}	10	dB
Penguatan USRP penerima	G_{R-usrp}	30	dB
Penguatan antenna	G_{ant}	3	dBi
Noise figure USRP	F	7	dB

Jika dikalkulasikan dalam bentuk logaritmik, persamaan daya terima pada Rx adalah

$$P_R = P_T + G_T + G_R - 20 \log_{10}(LFS) \quad (3.1)$$

di mana *free space Loss* sebesar :

$$LFS = 32.44 + 20 \log_{10} f_{MHz} + 20 \log_{10} d_{km} = 38,898 \text{ dB} \quad (3.2)$$

Untuk daya transmit pada pengirim sebesar :

$$\begin{aligned} P_T &= P_o - \text{Loss jumper} \\ &= 3,53 - 1,4845801 = 2,0454 \text{ dBm} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Untuk gain antenna digunakan 3dBi dimana gain 3 dBi merupakan perbandingan gain antenna yang digunakan terhadap gain antenna isotropis sebesar 2,1 dB. Sehingga

$$G_{ant} = 3 - 2,15 = 0,85 \text{ dBd}$$

Sehingga dari persamaan 3.2 diperoleh:

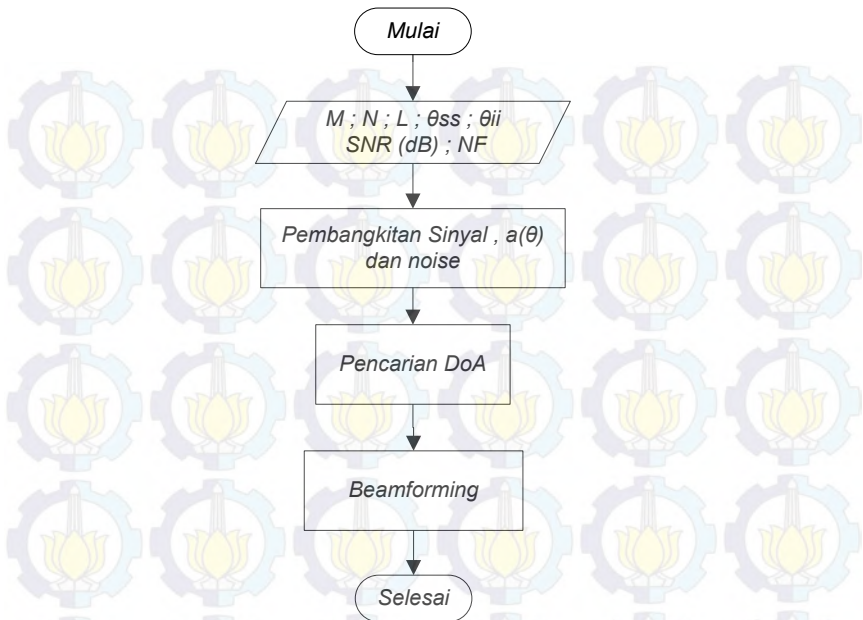
$$\begin{aligned} P_R &= ERP - LFS + G_{ant} - \text{Loss jumper} + M \\ &= 2,0454 - 38,898 + 0,85 - 0,8907 - 10 \\ &= -46,8933 \text{ dBm} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Dari karakteristik perangkat USRP yang memiliki sensitivitas pada level -100 dBm, maka nilai hasil perhitungan *power link budget* masih memenuhi level daya terima minimum USRP.

3.4 Perancangan Simulasi Sistem

Sebelum dilakukan implementasi sistem *Smart Antena* pada perangkat USRP, dilakukanlah perancangan algoritma dan simulasi sistem dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB dan LabVIEW agar diperoleh hasil yang sesuai. Flowchart perancangan simulasi sistem ditunjukkan melalui Gambar 3.6. Spesifikasi simulasi sistem *smart antenna* adalah sebagai berikut:

M	: 3 elemen
P	: 2 sinyal
L	: 1000 <i>sample</i>
SNR	: 20 dB
σ_0^2	: 0.01
θ_{ss}	: posisi <i>user</i> bergerak antara 0^0 hingga 180^0
θ_{ii}	: posisi <i>interferere</i> statis di antara 0^0 hingga 180^0



Gambar 3.6 Flowchart perancangan simulasi sistem

3.4.1 Simulasi Matlab

Pada tahapan ini dilakukan perancangan algoritma untuk pencarian DoA menggunakan algoritma MUSIC dan pembentukan *beamforming* menggunakan algoritma *Maximum SIR*.

a. Perancangan Algoritma MUSIC

Pada perancangan algoritma untuk deteksi arah sudut kedatangan digunakan parameter – parameter yang telah disebutkan sebelumnya. Untuk proses alur kerja atau tahap – tahap pemrosesan sinyal dengan menggunakan algoritma MUSIC yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.7. Simulasi diawali dengan pembangkitan sinyal hingga pemrosesan sinyal dengan menggunakan algoritma MUSIC hingga diperoleh sudut yang ingin dideteksi.

Tahapan - tahapan deteksi sudut pada algoritma MUSIC dapat dilakukan sebagai berikut

- 1) Membangkitkan sinyal acak (xx) dengan ukuran matrik $P \times L$ (jumlah sinyal \times jumlah sampling) dimana sinyal tersebut merupakan sinyal fasa kompleks $Ae^{j\phi}$. Nilai A merupakan amplitudo sinyal pada simulasi sistem yang ditetapkan bernilai satu dan ϕ merupakan komponen phase bernilai $-\pi < \phi < \pi$ (π dalam satuan radian). Sesuai pada parameter jumlah sinyal yang dideteksi adalah 2 sinyal dan sampling yang digunakan adalah 1000 sampling sehingga matrik yang dihasilkan akan berukuran $[2 \times 1000]$.
- 2) Membangkitkan steering vector (\bar{a}_θ) sesuai dengan persamaan (2.3), pada perancangan ini jarak antar elemen d sebesar $\lambda/2$ dan nilai $\beta = 2\pi/\lambda$ sehingga persamaan yang digunakan dapat diturunkan menjadi

$$\bar{a}(\theta) = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j(2 \cos \theta)} \\ \vdots \\ e^{j(M-1)(2 \cos \theta)} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

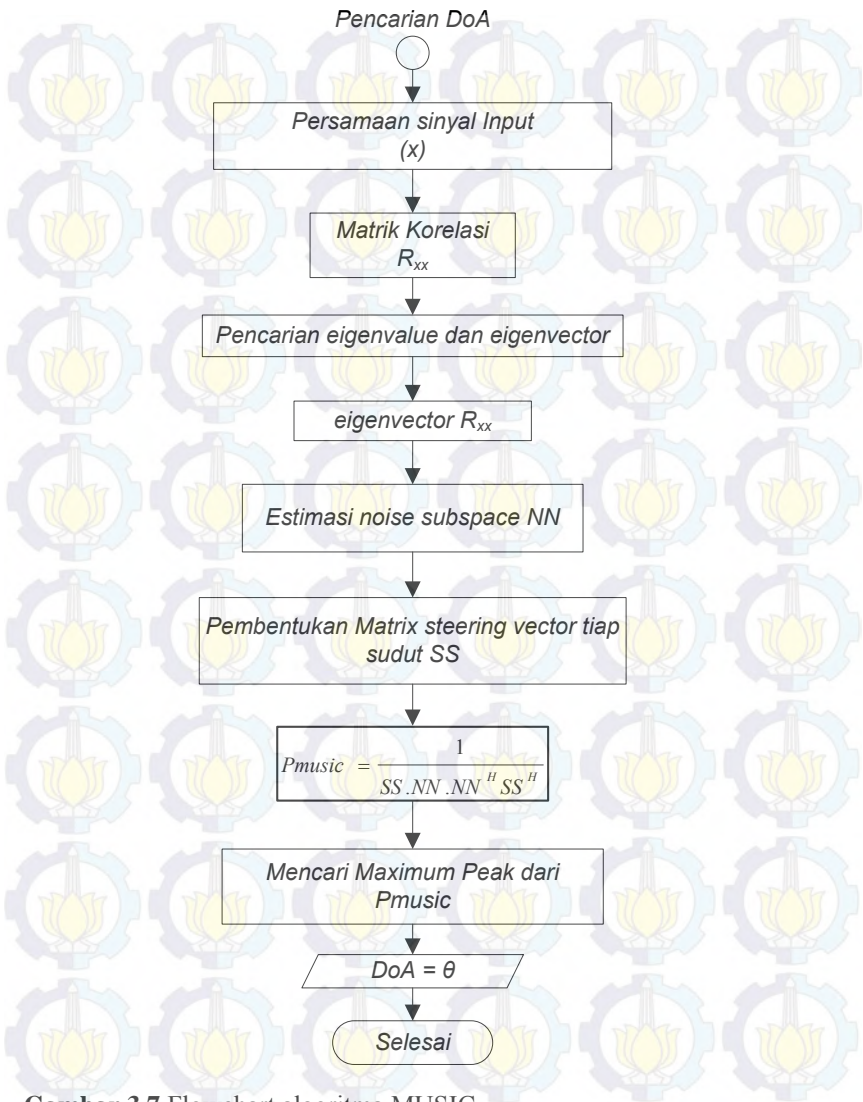
dengan ukuran matrik $M \times P$ (jumlah elemen \times jumlah sinyal).

- 3) Mengalikan sinyal dengan steering vector
- 4) Membangkitkan noise AWGN dengan SNR simulasi diatur sebesar 20 dB
- 5) Menjumlahkan sinyal dengan noise seperti pada persamaan 2.1 .
- 6) hitung matriks korelasi R_{xx} dari vektor sinyal datang $x(n)$ dengan persamaan 2.24.
- 7) Hitung dekomposisi Eigen dari R_{xx}

$$R_{xx} = E n \cdot \Sigma v \quad (3.6)$$

Dimnana $E n$ menyatakan matriks eigen vektor dari R_{xx} dan V menyatakan matriks diagonal dengan elemen diagonal adalah eigen-value dari matrix R_{xx} . Selanjutnya matriks eigen vektor U dipartisi menjadi dua bagian. Eigen-vektor bagian k kolom disebut *signal sub-space* U_s dan kolom lainnya disebut *noise sub-space* NN . Dengan demikian vektor eigen $E n$ dapat ditulis menjadi:

$$E n = [U_s NN] \quad (3.7)$$



Gambar 3.7 Flowchart algoritma MUSIC

- 8) Bangkitkan steering vektor $SS(\theta)$ seperti Persamaan 2.2 untuk sudut $0^\circ - 180^\circ$.
- 9) Hitung spektrum sinyal $P_{\text{music}}(\theta)$ untuk setiap nilai θ dari 0° sampai 180° dengan persamaan 2.28

$$P_{\text{music}}(\theta) = \frac{1}{NN \cdot SS(\theta)^H \cdot NN^H \cdot a(\theta)}$$

- 10) Sudut kedatangan sinyal diperoleh pada saat nilai $P_{\text{music}}(\theta)$ bernilai maksimal (atau lokal maksimal jika terdapat beberapa sumber).

DoA hasil estimasi algoritma MUSIC digunakan sebagai referensi algoritma *Maximum SIR* untuk proses *beamforming*. Algoritma *Maximum SIR* memiliki kemampuan untuk mengarahkan mainlobe ke arah DoA sinyal yang diinginkan,

b. Perancangan Algoritma *Maximum SIR*

Pada perancangan algoritma untuk *beamforming* tetap digunakan parameter – parameter yang telah disebutkan sebelumnya dan hasil sudut DoA dari hasil pemrosesan algoritma MUSIC. Untuk proses alur kerja algoritma *Maximum SIR* dapat dilihat pada Gambar 3.8. Setelah sudut diperoleh maka dilakukan tahap-tahap sebagai berikut:

- 1) pembangkitan steering vector dengan persamaan 2.2 sehingga didapat matrix steering vector untuk sudut yang diinginkan $\bar{a}(\theta)$ dan sudut interferernya $\bar{b}(\theta)$.
- 2) Menghitung nilai matrik korelasi tiap *steering vektor* dengan persamaan 2.24 sehingga diperoleh nilai matrix korelasi R_{ss} untuk sinyal yang diinginkan dan matrik korelasi R_{ii} untuk sinyal *interferer*.
- 3) Membangkitkan matrik korelasi untuk noise (R_{nn}).
- 4) Menjumlahkan matrik korelasi noise dengan matrik korelasi sinyal *interferer* seperti persamaan di bawah:

$$R_{uu} = R_{ii} + R_{nn} \quad (3.9)$$

- 5) Kemudian menghitung invers dari matrik korelasi total sinyal yang tidak diinginkan.

$$I = R_{uu}^{-1} \quad (3.10)$$

- 6) Mengalikan matrik korelasi sinyal yang diinginkan dengan invers sinyal yang tidak diinginkan.

$$R = R_{ss} \cdot I \quad (3.11)$$

- 7) Menghitung nilai eigen vektor dan eigen value dari R kemudian mengambil nilai terbesar dari eigen value untuk memperoleh nilai SIRmax.
- 8) Membandingkan nilai *steering vector* sinyal yang diinginkan $\bar{a}(\theta)$ dengan nilai SIRmax untuk memperoleh nilai β dengan persamaan 2.40 dan dapat dihitung dengan:

$$= \frac{\bar{a}(\theta)}{SIRmax} \quad (3.12)$$

- 9) Mengalikan nilai β dengan invers sinyal yang tidak diinginkan untuk memperoleh bobot

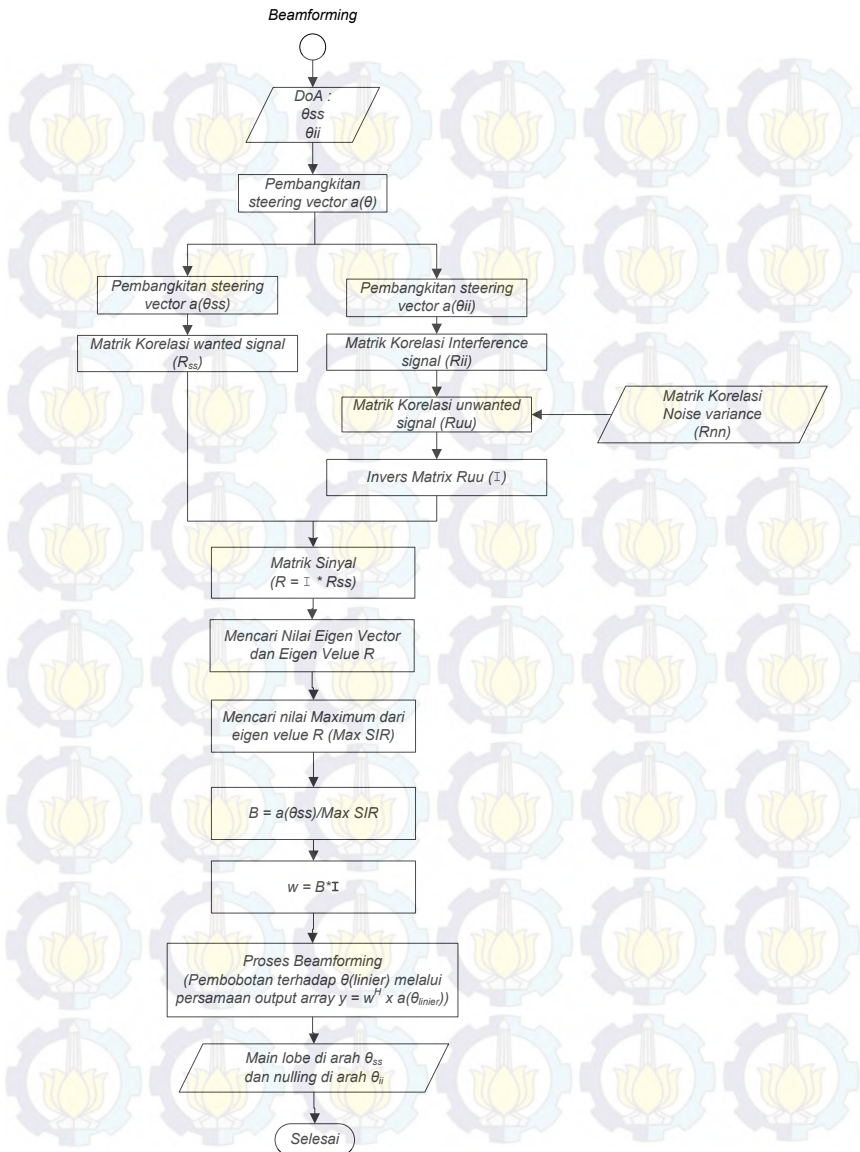
$$w = \beta \cdot I \quad (3.11)$$

- 10) Untuk membentuk beamforming maka bobot yang telah diperoleh dikalikan dengan steering vector tiap sudut

$$y = \overline{SS}(\theta) \cdot w^H \quad (3.13)$$

- 11) Hasil dari pembobotan akan memperlihatkan bentuk beam antenna, dimana beam akan maksimum pada sudut yang diinginkan dan minimum pada sudut interferer.

Hasil dari perancangan program algoritma MUSIC dan *Maximum SIR* selanjutnya akan digunakan pada simulasi dengan LabVIEW sebelum diterapkan pada USRP. *Script* Matlab dari algoritma MUSIC dan *Maximum SIR* selengkapnya untuk simulasi sistem *smart antenna* terlampir pada lampiran D.

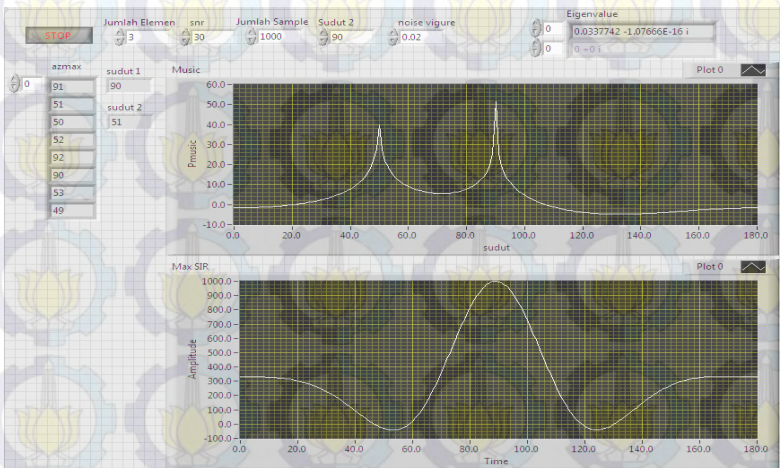


Gambar3.8 Flowchart Algoritma *Maximum SIR*

3.4.2 Simulasi LabVIEW

Simulasi labview dirancang sebagai simulink untuk USRP. LabVIEW agar dapat mengolah data dengan menyisipkan *script* Matlab melalui LabVIEW Mathscript *RT Module*. Simulasi sistem *smart antenna* pada LabVIEW dilakukan dengan tujuan untuk menguji kompatibilitas algoritma yang telah dibuat di MATLAB sebelum diimplementasikan ke USRP. Dari simulasi ini diharapkan probabilitas sistem *error* akibat ketidak sesuainya *script* MATLAB dengan LabVIEW dapat dihindari.

Pada perancangan ini parameter yang digunakan masih sama dengan parameter yang digunakan pada pemrograman algoritma dengan MATLAB sehingga hanya dilakukan beberapa penyesuaian *script* dengan bahasa pemrograman LabVIEW. Pada beberapa *script* MATLAB terdapat perbedaan. Perbedaan yang pertama adalah Fungsi *awgn(x,snr)* tidak tersedia pada mathscript LabVIEW, sehingga untuk pembangkitan noise dilakukan secara manual yaitu membangkitkan noise acak dan juga untuk fungsi *find peaks* tidak tersedia sehingga digunakan *max(Pmusic)* untuk mencari nilai maksimum dimana sudut yang diinginkan berada. Kemudian fungsi untuk plotting grafik pada Matlab digantikan dengan *graphical user interface (GUI)* yang langsung dapat diinputkan parameter yang diinginkan.



Gambar 3.9 Tampilan *front panel* dari LabVIEW simulasi blok penerima sistem *smart antenna*

Berdasarkan tampilan plot pseudospectrum MUSIC dan *Maximum SIR* terlihat bahwa algoritma telah dapat mendeteksi nilai DoA dan beamforming dengan baik. Hasil perancangan simulasi sistem *smart antenna* pada perangkat lunak LabVIEW, baik tampilan pada *front panel* maupun diagram blok program LabVIEW dapat dilihat selengkapnya pada Lampiran C.

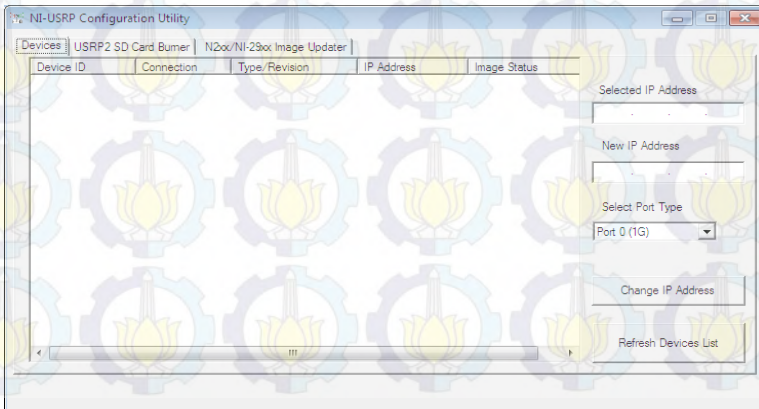
3.5 Perancangan LabVIEW untuk implementasi pada USRP

Perancangan program LabVIEW sebelumnya telah berhasil mensimulasikan Algoritma MUSIC beserta *Maximum SIR*, selanjutnya pemrograman dilakukan untuk implementasi pada USRP. Sistem *smart antenna* yang dirancang pada LabVIEW terbagi menjadi dua sistem, yaitu sistem pengirim dan sistem penerima.

3.5.1 Koneksi Perangkat

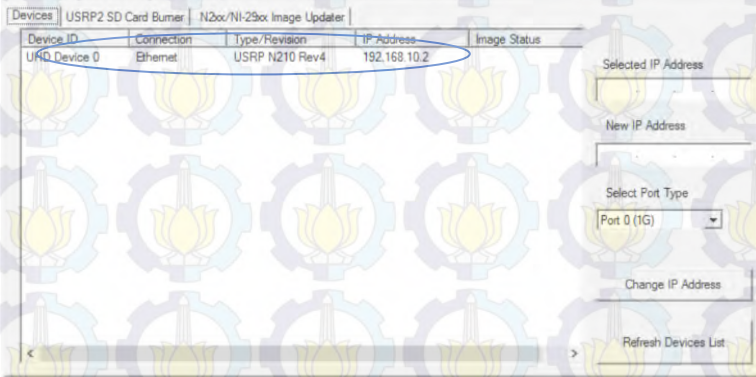
Komunikasi antara USRP NI-2922 dengan *host* dirancang berdasarkan IP *address*. Standar IP *address* yang digunakan adalah IP v.4 192.168.10.2, di mana IP 192.168.10.1 digunakan sebagai IP *gateway* untuk komunikasi USRP dengan perangkat laptop yang berkedudukan sebagai *host*.

Pengguna USRP dapat mengganti IP *address* USRP melalui *software* NI-USRP Configuration Utility. Tampilan dari NI-USRP Configuration Utility dapat dilihat melalui Gambar 3.10. Sebagai informasi jika laptop telah terkoneksi maka akan munculnya IP *address* USRP.



Gambar 3.10 Tampilan NI-USRP Configuration Utility

Untuk mengganti IP pada USRp kita harus masuk pada jendela device kemudian pada sisi kanan panel pilih IP dari USRP mana yang akan kita ganti, setelah itu ketik IP baru yang ingin kita masukkan dan kemudian klik change IP. Gambar 3.11 memperlihatkan IP yang telah kita setting pada jendela NI-USRP *Configuration Utility*.



Gambar 3.11 Tampilan Ip pada NI-USRP Configuration Utility

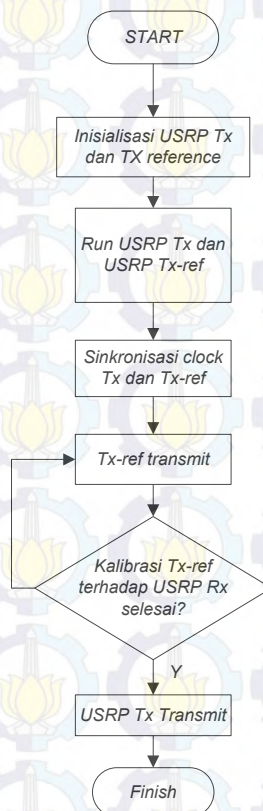
3.5.2 Rancangan sistem Pengirim Tx

Perancangan sistem pengirim Tx dilakukan dengan menggunakan dua pengirim yaitu Tx pemancar dan Tx referensi untuk sinkronisasi terhadap penerima. Diagram alur sistem pengirim Tx dapat dilihat pada Gambar 3.12.

Pada penelitian ini, digunakan USRP jenis NI-2922 atau N210 dengan tambahan SBX, pada USRP ini pengguna hanya dapat melakukan pemrograman pada bagian pemrosesan sinyal *baseband*. Dalam mekanisme pengubahan sinyal *intermediate frequency* (IF) menjadi *radio frequency* (RF) pada USRP memiliki sistem internal tersendiri sehingga sinyal baseband yang telah kita proses langsung dapat ditransmisikan. Sinyal dikonversikan dari digital ke analog pada sisi *front end* menggunakan *motherboards* dari USRP.

Pemrograman USRP pada LabVIEW dimulai dengan sub-blok OpenSession dan diakhiri dengan sub-blok CloseSession. Ekstensi file dari masing-masing sub-blok pada LabVIEW adalah .vi.

Inputan pada .vi OpenSession adalah *IP address* USRP yang akan digunakan. Pembangkitan sinyal pada USRP menggunakan parameter di bagian Configure Signal.vi, yang terdiri dari frekuensi *sampling* yang digunakan, frekuensi *carrier* pada sistem dan gain pada USRP. Antar USRP Tx dan Tx reference harus dilakukan sinkronisasi, Sinkronisasi anatar USRP tersebut dilakukan dengan menggunakan kabel MIMO. Untuk Blok konfigurasi perangkat dan sinkronisasi ditunjukkan melalui .Gambar 3.3.

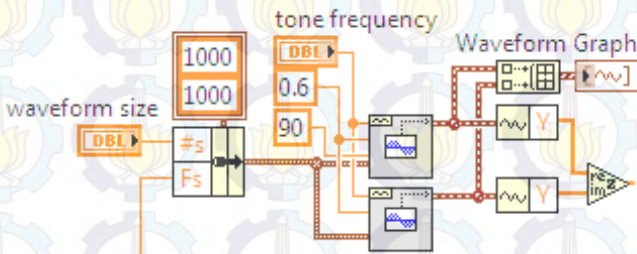


Gambar 3.12 Diagram alir sistem pengirim Tx

Penerima harus menerima sinyal dari Tx-reference terlebih dahulu sebelum menerima sinyal dari Tx pemancar untuk sinkronisasi.

Untuk menjalankan kondisi tersebut maka digunakan prinsip boolean yang diatur untuk memungkinkan sistem Tx pemancar mengirimkan sinyal setelah Tx-reference aktif.

Boolean variable menghasilkan output *True* dan *False* digunakan untuk mengatur sistem Tx melakukan pembangkitan sinyal. Jika boolean bernilai *True* maka sistem Tx akan melakukan pembangkitan sinyal tone melalui modul LabVIEW. Pembangkitan Sinyal tone ditunjukkan melalui Gambar 3.13.



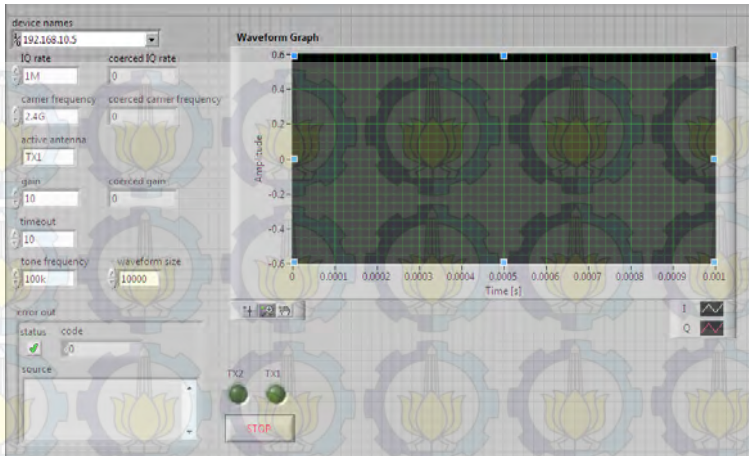
Gambar 3.13 Pembangkitan Sinyal tone

Persiapan data sebelum masuk ke *front end* USRP menggunakan sistem antrian (*buffer*). Pada blok ini diatur jumlah sampling yang dikirimkan di setiap framenya.

Informasi yang keluar dari Write Data.vi merupakan informasi baseband yang siap untuk diolah lebih lanjut oleh *front end*. Jika tidak ada error dari keluaran masing-masing blok, maka informasi berbentuk sinyal *baseband* berfrekuensi IF akan diolah menjadi sinyal analog RF untuk ditransmisikan. Untuk tampilan dari front panel Tx dapat dilihat pada Gambar 3.14 dan untuk diagram blok Lab VIEW terdapat pada lampiran C.

3.5.3 Rancangan Sub-sistem Referensi Pengirim

Perancangan Tx-reference sama dengan Tx pemancar. Namun pada Tx-reference sinyal yang dibangkitkan berupa sinyal *tone* berfrekuensi 10 KHz yang ditransmisikan secara terus menerus pada penerima. Front pada Tx-reference hampir sama seperti front panel pada Tx-pemancar yang ditunjukkan melalui Gambar 3.14. untuk blok diagram pada tx-reference dapat dilihat pada Lampiran D.



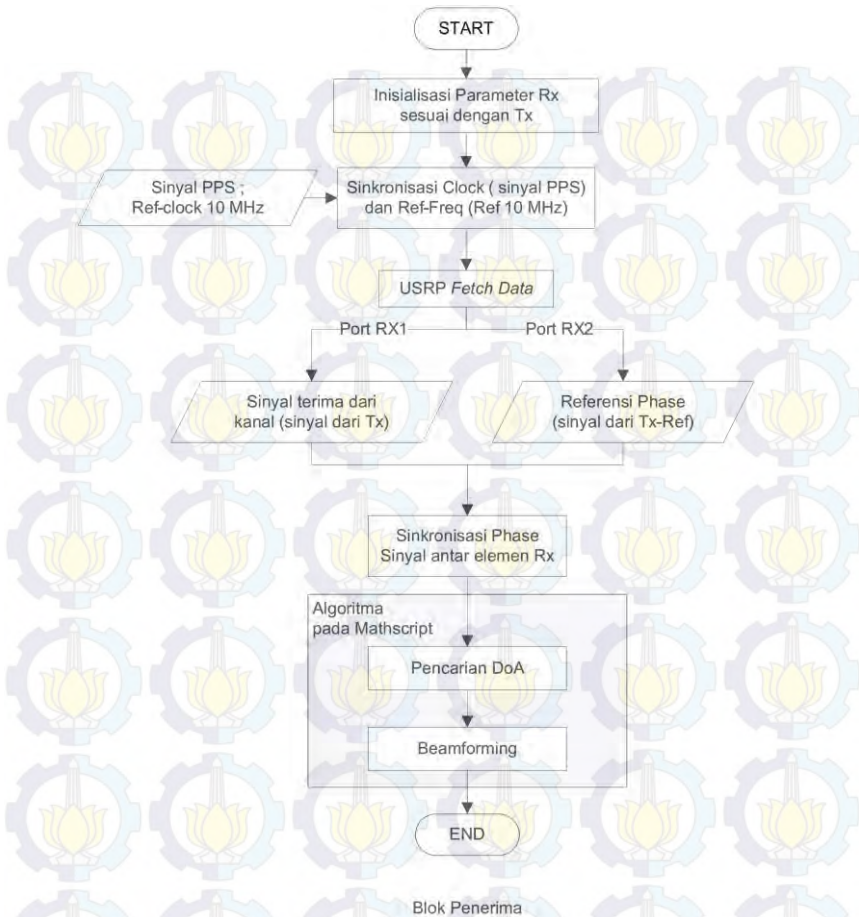
Gambar 3.14 Tampilan *front panel* Tx pemancar.

3.5.4 Rancangan sistem Penerima Rx

Pada sistem penerima program diset mulai mengolah sinyal pada detik ke 5 setelah program dijalankan agar sinkronisasi pada sistem penerima dapat berjalan dengan benar. Diagram alir dari sistem pengirim dapat dilihat pada Gambar 3.15.

Pada sistem penerima digunakan antenna array dengan konfigurasi tiga USRP sekaligus. Masukan IP *address* untuk ke-tiga USRP diatur dalam kondisi for loop sehingga sistem hanya akan aktif jika ketiga IP *address* dari USRP telah dimasukkan dengan benar. Ketiga USRP yang digunakan dalam satu pemrograman LabVIEW diidentifikasi berdasarkan kanal kerja yang berbeda-beda. Ketika USRP terkoneksi dengan *host*, maka secara otomatis masing-masing USRP akan menempati kanal dengan indeks yang berurutan. Kanal tersebut digunakan oleh sistem untuk mengolah sinyal dari setiap USRP.

Masing-masing USRP memiliki *local oscillator* dengan referensi *clock* berbeda yang dapat menimbulkan perbedaan phase di antara kanal kerja USRP. Dan perbedaan waktu dimulainya *sampling*. Masalah sinkronisasi *local oscillator* dan *clock sampling* ini dapat diatasi dengan memberikan sinyal referensi *clock* 10 MHz dan sinyal pulsa 1 *pulse per second* (PPS) kepada masing-masing USRP yang secara otomatis digunakan sebagai referensi untuk *local oscillator*.



Gambar 3.15 Diagram alir sistem penerima Rx

Kondisi for loop. Sub blok Initiate.vi digunakan untuk mengawali proses akuisisi data di sub-sistem penerima. Parameter yang dimasukkan pada Configure.vi meliputi nilai frekuensi *sampling* dan frekuensi *carrier*. Nilai frekuensi *sampling* digunakan untuk menentukan nilai *IQ rate* sistem dan juga sebagai masukan parameter untuk membangun *finite impulse response* (FIR) dan *infinite impulse*

response (IIR). Ke dua jenis filter ini digunakan untuk memisahkan sinyal informasi yang dikirimkan oleh USRP *transmitter* dengan sinyal yang berasal dari *Tx-reference*. Keluaran dari filter FIR ataupun IIR kemudian menjadi parameter masukan untuk sinkronisasi fase yang masuk ke dalam blok pengolahan sinyal (*signal processing*).

Sistem pengambilan data kembali menggunakan konsep *buffering* dengan data yang diolah merupakan data berjenis bilangan kompleks. Banyaknya data yang disimpan selama proses *buffering* didasarkan atas nilai *sampling* yang diatur oleh *host*. Inisialisasi tipe data kompleks yang akan diolah pada sistem *buffering* dilakukan melalui LabVIEW MathScript RT.

Diberlakukan *low pass filter* dan *high pass filter* terhadap sinyal yang diterima oleh setiap elemen array. *Low pass filter* digunakan untuk mendapatkan sinyal dari *Tx-reference* dan *high pass filter* digunakan untuk mendapatkan sinyal terima dari *transmitter*. Deretan sinyal yang diterima dipotong 1000 *sampling* di awal sinyal dan 1000 *sampling* di akhir sinyal. Akibat dari pemotongan sinyal ini, jumlah *sampling* yang digunakan ketika masuk ke algoritma MUSIC dan Maximum SIR juga berkurang yang awalnya sebesar 3000 *sampling*, berkurang menjadi 1000 *sampling*.

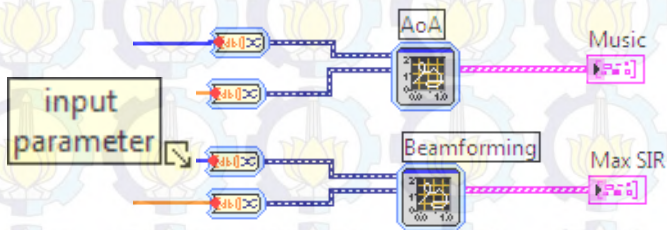
Blok pengolahan sinyal berisi dua *script* dari MATLAB-file yang masing-masing *script* secara berurutan terdiri dari sinkronisasi fase dan implementasi algoritma MUSIC dan Maximum SIR.

Data sinyal terima yang tersinkronisasi di simpan dalam bentuk *file* tdms dengan memanfaatkan sub-blok Write to Measurement Express vi. Tujuan dari penyimpanan data ini adalah untuk analisa *offline* data hasil pengukuran. Keterbatasan dari sistem penyimpanan yang digunakan hanya mampu menyimpan data dalam bentuk 1D array (array satu dimensi), sehingga data dari setiap elemen array disimpan satu per satu dengan pemisahan nilai *real* dan *imaginer* untuk setiap elemen.



Gambar 3.16 penyimpanan data

Sebagai indikator posisi DoA dan simulasi beamforming hasil estimasi sistem, pada sistem penerima dilengkapi dengan tampilan grafik MUSIC pseudospectrum dan Maximum SIR-beamforming.



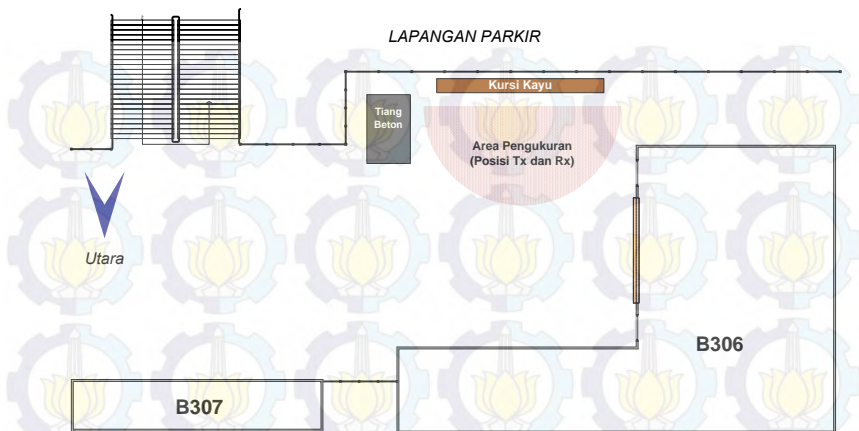
Gambar 3.17 Plot Pseudospectrum MUSIC dan *Maximum SIR*

Untuk diagram blok blok receiver secara keseluruhan terlampir pada Lampiran C.

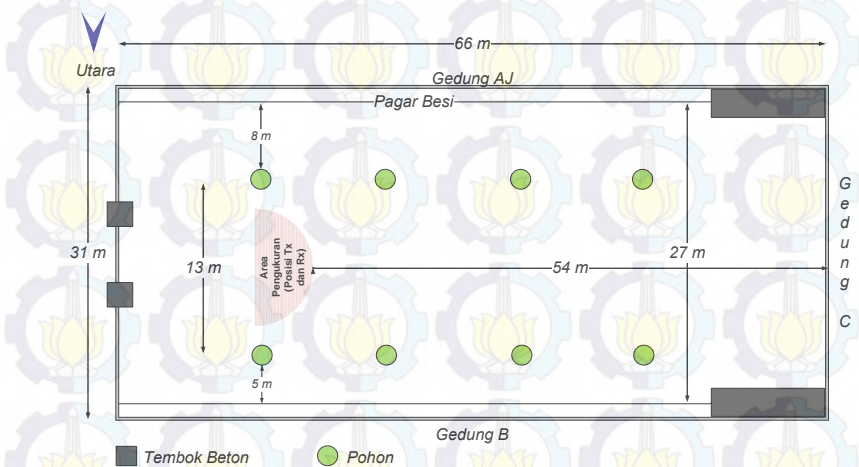
3.6 Skenario Pengukuran

Pengukuran dilakukan pada beberapa kondisi lingkungan untuk mengetahui pengaruh pantulan pada kinerja sistem *smart antenna*. Konfigurasi perangkat yang digunakan untuk seluruh skenario pengukuran mengikuti ilustrasi pada Gambar 3.3. pengukuran dilakukan untuk mendeteksi arah kedatangan sinyal dengan parameter pengukuran berupa sudut dalam derajat (0° hingga 180°). Software yang digunakan dalam pengukuran adalah LabVIEW dengan algoritma MUSIC sebagai pengestimasi sudut kedatangan.

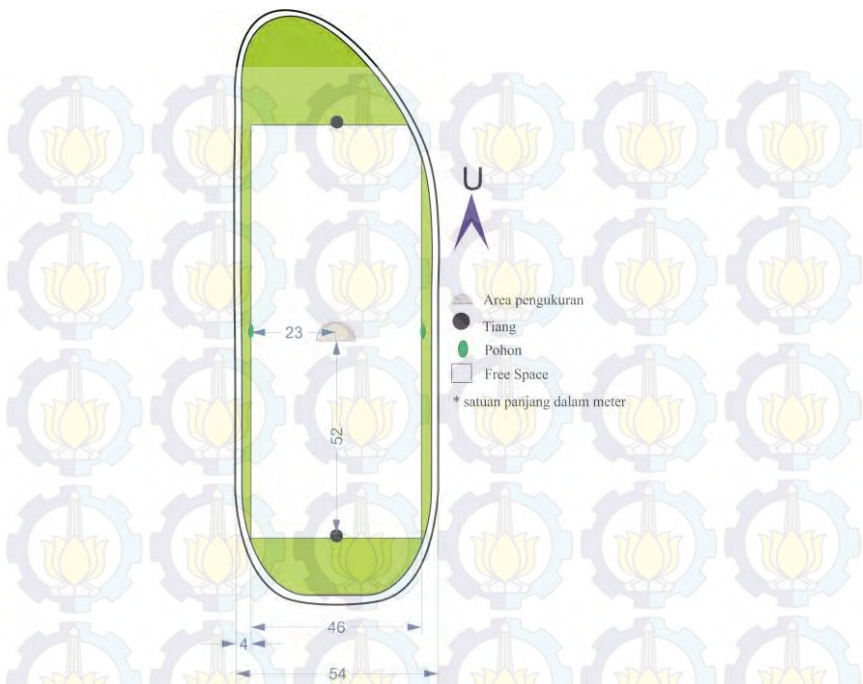
Pengujian hasil rancangan sistem dilakukan pada 4 lokasi yaitu lokasi A yang berada di depan Laboratorium Antena dan Propagasi ruang B306. Denah lokasi pengukuran untuk lokasi A ditunjukkan melalui Gambar 3.18. Lokasi B dilakukan di lapangan parkir Jurusan Teknik Elektro Denah lokasi pengukuran untuk lokasi B ditunjukkan melalui Gambar 3.19. lokasi C dilakukan di tengah lapangan Taman Alumni Denah lokasi pengukuran untuk lokasi C ditunjukkan melalui Gambar 3.20. Dan lokasi D dilakukan di tengah lapangan Parkir Stadion ITS Denah lokasi pengukuran untuk lokasi D ditunjukkan melalui Gambar 3.21. karena semua pengukuran dilakukan di area kampus ITS maka rata-rata pengukuran dilakukan pada sore dan malam hari agar mendapatkan kondisi yang diinginkan. Untuk dokumentasi dari tempat pengukuran dapat dilihat pada lampiran E.



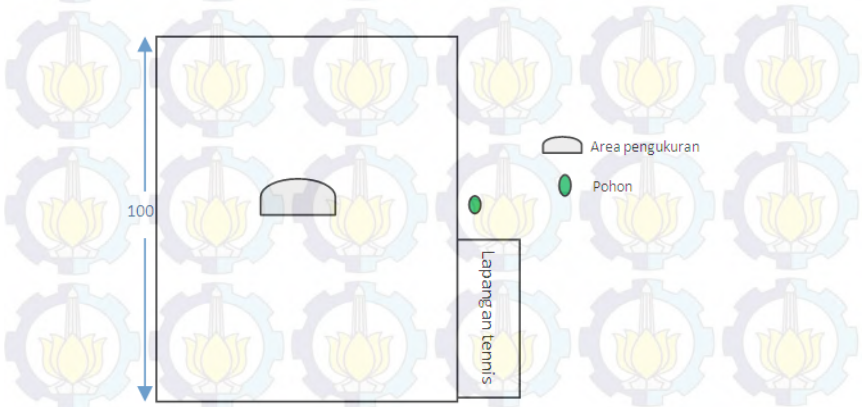
Gambar 3.18 Denah lokasi Pengukuran A



Gambar 3.19 Denah lokasi pengukuran B.



Gambar 3.20 Denah lokasi Pengukuran C



Gambar 3.21 Denah lokasi Pengukuran D

BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Implementasi pada sistem telah dilaksanakan hingga tahap estimasi DoA. Pengukuran dilakukan untuk menguji kinerja USRP sebagai *prototype* sistem *smart antenna*.

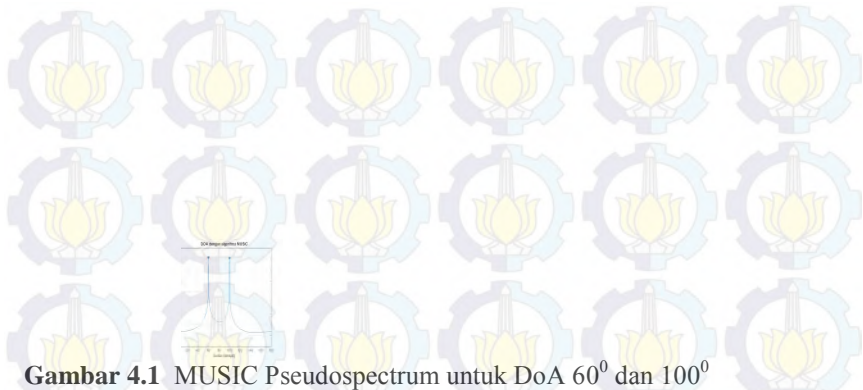
4.1 Parameter Evaluasi Sistem

Sistem *smart antenna* bekerja pada sudut azimuth, dengan interval sudut 0° hingga 180° . Pengujian kualitas sistem *smart antenna* didasarkan pada keakuratan dalam mendeteksi arah kedatangan sinyal. Parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas sistem adalah tingkat akuratan dalam mendeteksi DoA (*Direction of Arrival*). Pengukuran dilakukan pada simulasi algoritma dan pengukuran secara langsung di beberapa lokasi yang berbeda dengan kondisi Rx diam dan Tx digerakkan di sepanjang sudut azimuth dari 0° hingga 180° dimana pergeseran dilakukan setiap 10° .

4.2 Analisa Hasil Simulasi

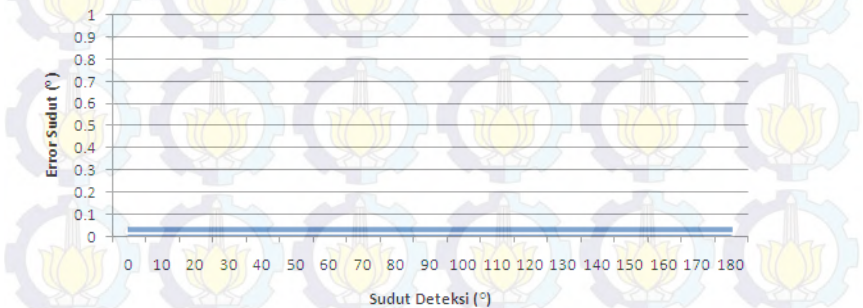
Simulasi sistem *smart antenna* seperti telah dijelaskan pada perancangan pada sub bab 3.1. Dilakukan dengan tahapan mulai dari pembangkitan sinyal, pencarian sudut kedatangan sinyal, hingga pengaturan beam ke arah kedatangan sinyal.

Pencarian sudut kedatangan sinyal dengan menggunakan algoritma MUSIC diperoleh dari hasil plot Pmusic yang didapat dari persamaan 2.30. Sudut akan terdeteksi jika nilai Pmusic adalah maksimum atau lokal maksimum (memiliki nilai level maksimum lebih dari satu) jika terdapat beberapa sumber sinyal. Simulasi diawali dengan melakukan uji deteksi dengan dua sudut, sudut 60° dan 100° dipilih untuk mewakili sudut 0° hingga 180° . Setelah simulasi dengan dua sudut selesai dilakukan uji deteksi sudut dengan dua sinyal pada tiap-tiap sudut dari 0° hingga 180° dengan satu sudut tetap pada 90° yang diasumsikan sebagai sinyal interferensi. Pada pengujian ini digunakan jumlah elemen antenna sebanyak 3 elemen, jumlah sampling yang digunakan 1000 sampling dan SNR sebesar 20 dB.



Gambar 4.1 MUSIC Pseudospectrum untuk DoA 60° dan 100°

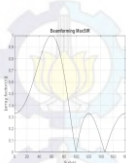
Hasil running dari program MATLAB yang dilakukan pada sudut 60° dan 100° dapat dilihat pada Gambar 4.1 dimana algoritma MUSIC pada simulasi Matlab telah dapat mendeteksi sudut 60° dan 100° , hal tersebut dapat dilihat bahwa terdapat dua nilai maksimum pada spektrum yang terdapat pada Gambar 4.1. nilai sudut yang terdeteksi sudah cukup akurat dengan error deteksi sebesar 0° .



Gambar 4.2 Error estimasi pada algoritma MUSIC untuk DoA 0° hingga 180°

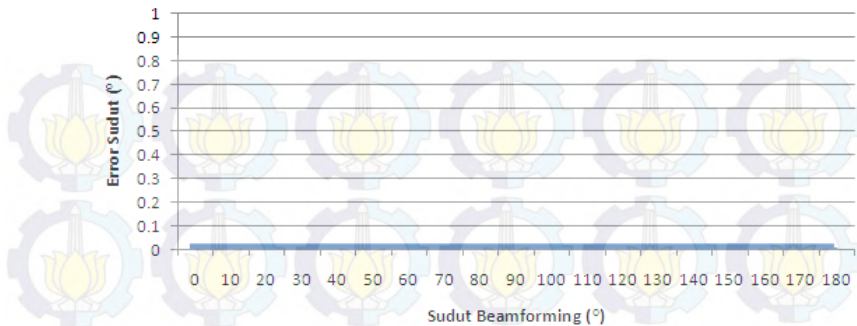
Dari gambar 4.2 diperoleh error sudut 0° pada tiap sudut dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa algoritma MUSIC yang dirancang telah dapat mendeteksi sudut dengan baik.

Beamforming dapat dilakukan jika sudut sinyal telah terdeteksi. Kemudian sudut yang terdeteksi diolah dengan algoritma *Maximum SIR* untuk membentuk beam antenna agar dapat mengarah pada sinyal yang dideteksi. Plot dari beamforming diperoleh dari persamaan 3.13, hasil dari pembobotan dengan persamaan tersebut akan membentuk beam yang maksimum pada sinyal yang diinginkan dan minimum pada sinyal interferer. Simulasi dilakukan terhadap sudut yang sama seperti pada hasil yang diperoleh dengan algoritma MUSIC yaitu sudut 60° sebagai sinyal yang diinginkan dan 100° sebagai sinyal interferer. setelah dilakukan beamforming dengan dua sudut selanjutnya akan dilakukan simulasi beamforming pada tiap sudut dari 0° hingga 180° dengan sinyal interferer tetap berada pada 90° , hasil dari simulasi tiap sudut tersebut akan ditampilkan dalam bentuk grafik. Parameter yang digunakan untuk simulasi disesuaikan dengan spesifikasi sistem sebelumnya seperti jumlah elemen array, sinyal, jumlah sampling dan SNR.



Gambar 4.3 Hasil beamforming untuk DoA *wanted signal* 60° dan DoA *interferere* 100° pada konfigurasi 3-elemen array

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa hasil simulasi beamforming yang dihasilkan telah dapat mengarahkan beam antenna pada arah yang diinginkan dan mengennullkan beam pada arah interferensi. Hal ini dapat dilihat dimana nilai maksimum berada pada sudut 60° dan nilai minimum pada sudut 100° .



Gambar 4.4 Error estimasi beamforming untuk *wanted signal* 0° hingga 180° dan *interferere* 90°

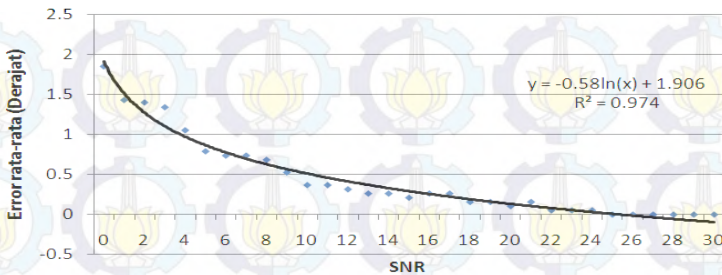
Dari gambar 4.4 diperoleh error sudut 0° pada tiap sudut dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa algoritma *Maximum SIR* yang dirancang telah dapat melakukan beamforming dengan baik sesuai dengan yang diinginkan.

4.2.1 Analisa Pengaruh SNR dan Elemen

SNR merupakan perbandingan daya di penerima, antara daya sinyal dengan daya noise yang dinyatakan dalam satuan decibel mengingat satuan daya sinyal pada umumnya menggunakan dBm ataupun dBW. Jika penerima menerima daya sinyal 1000 kali daripada daya noise, maka SNR sistem komunikasi tersebut dapat diestimasi bernilai 30 dB ($SNR_{dB} = 10 \log_{10}(1/1000)$).

Analisa SNR digunakan untuk meninjau performansi algoritma dalam mengestimasi sudut kedatangan sinyal dan melakukan beamforming pada berbagai kondisi SNR. Parameter variable tetap yang digunakan adalah jumlah elemen array yang digunakan sejumlah 3 elemen, sampling yang digunakan adalah 1000 sample, jumlah sudut yang dideteksi sebanyak 18 sudut dari 0° hingga 180° dan sudut interferer pada 90° . Pada percobaan pertama, variabel bebas dari analisa perubahan SNR adalah nilai SNR positif, yang divariasikan mulai dari 0 hingga 30 dB, ditinjau setiap 1 dB. Amplitudo sinyal yang dibangkitkan bernilai satu dan *uniform*. Noise dibangkitkan dengan jenis awgn.

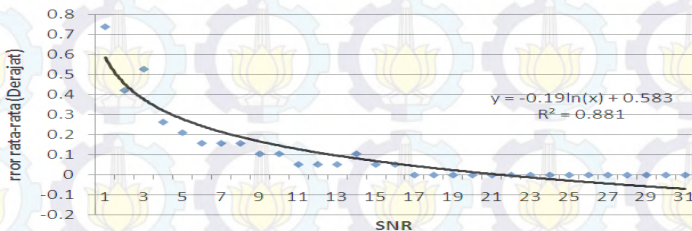
Error Estimasi DoA Music



Gambar 4.5 Error estimasi DoA sudut yang diinginkan pada variasi SNR

Dari percobaan diatas dapat dilihat jika nilai SNR rendah maka hasil deteksi yang diperoleh memiliki error yang cukup tinggi yaitu 1,78, namun pada saat kondisi SNR berada pada nilai 19 hingga 30 dB error yang terjadi cukup kecil sehingga dapat disimpulkan pada kondisi tersebut program dapat mendeteksi sudut DoA dengan cukup akurat.

Error Estimasi DoA Music Sudut Interferer 90°

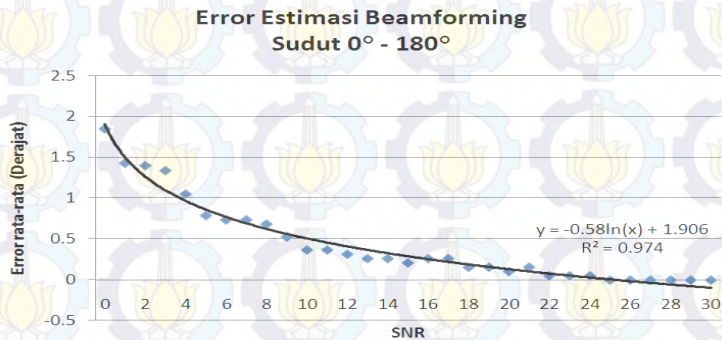


Gambar 4.6 Error estimasi DoA pada variasi SNR pada sudut interferensi 90°

Seperti pada bagan sebelumnya estimasi error pada sudut interferer juga terjadi cukup tinggi pada nilai SNR yang rendah dan ketika SNR yang digunakan 16 hingga 30 dB maka error deteksi yang terjadi cukup kecil.

Dari Gambar 4.7 diatas dapat dilihat bahwa nilai error pada beamforming juga terjadi pada SNR yang kecil dan error mengalami penurunan dengan semakin meningkatnya nilai SNR. Perubahan nilai SNR mengindikasikan hal yang serupa pada DoA dan beamforming. Hal ini dikarenakan inputan sudut yang diterima oleh beamforming adalah

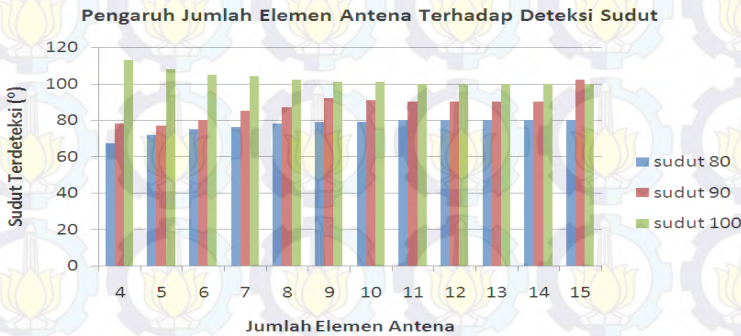
dari deteksi DoA sehingga jika error deteksi yang cukup tinggi terjadi pada DoA maka beamfoming juga akan mengalami error yang sama dengan DoA.



Gambar 4.7 Error estimasi Beamforming pada variasi SNR pada sudut 0°-180°

Kemudian simulasi dilanjutkan dengan mengubah-ubah jumlah elemen antenna dengan variabel tetap SNR, jumlah semple dan sudut yang dideteksi adalah 80, 90 dan 100.

Dari pengujian diatas diperoleh bahwa jumlah elemen juga sangat mempengaruhi ketepatan deteksi sudut pada sistem. Pada jumlah elemen yang sedikit terjadi error yang cukup besar pada sudut 100° yaitu sebesar 15° kemudian error deteksi semakin mengecil selaju dengan penambahan jumlah elemen.

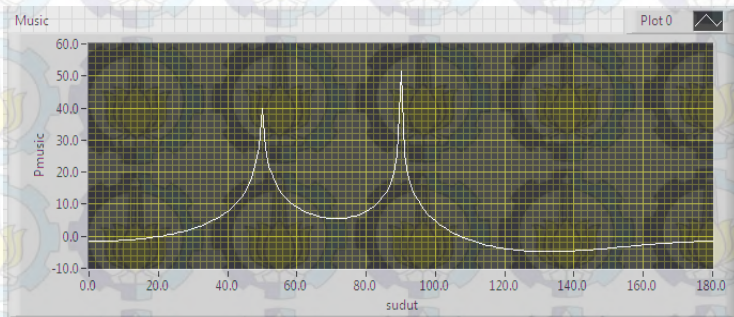


Gambar 4.8 Pengaruh Jumlah elemen terhadap deteksi sudut pada DoA dengan algoritma MUSIC

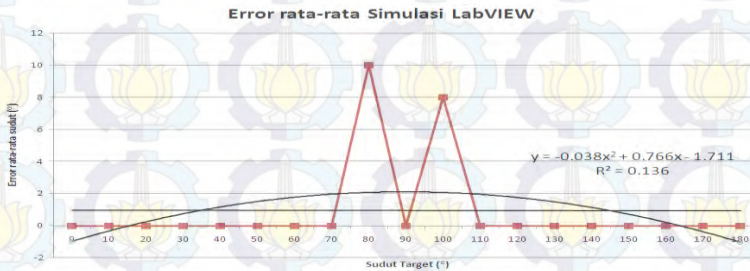
4.2.2 Analisa Simulasi pada LabVIEW

Simulasi pada LabVIEW dilakukan dengan mengukur nilai error pada deteksi sudut. Variable bebasnya adalah sudut dari 0° sampai 180° dengan SNR 20 dB dan sudut interferer adalah 90° . Untuk tampilan hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.9.

Dari hasil pengujian terlihat bahwa dari sudut 0 hingga 70 sistem dapat mendeteksi sudut dengan tepat namun pada saat sudut 80 hingga 100 terjadi error yang cukup signifikan grafik hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.9 Hasil simulasi LabVIEW untuk estimasi DoA 50° dan 90° menggunakan algoritma MUSIC



Gambar 4.10 Hasil simulasi LabVIEW untuk estimasi DoA dan beamforming 0° hingga 180° menggunakan algoritma MUSIC dan *Maximum SIR* dengan interferer pada sudut 90°

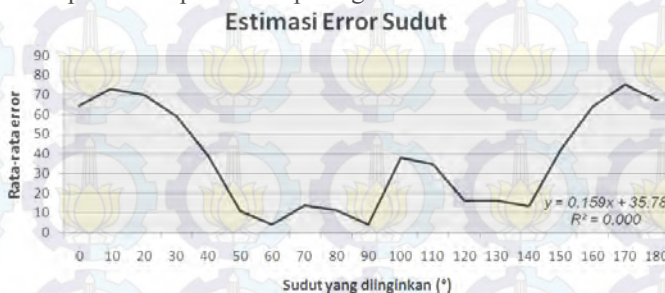
4.3 Analisa Hasil Pengukuran

Pengukuran yang dilakukan melalui skenario A, B, dan C memberikan hasil kualitas sistem yang cukup beragam. Efek propagasi gelombang elektromagnetik dan pengaruh sinkronisasi phase antar elemen array dianggap menjadi penyebab beragamnya hasil pengukuran.

4.3.1 Hasil Pengukuran

a. Hasil pengukuran Lokasi A

Dari hasil pengukuran lokasi A dilakukan perhitungan rata-rata error yang terjadi pada tiap sudut dalam rentang waktu pengukuran, data error rata-rata yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 4.11 berikut.



Gambar 4.11 Error sudut pada pengukuran lokasi A

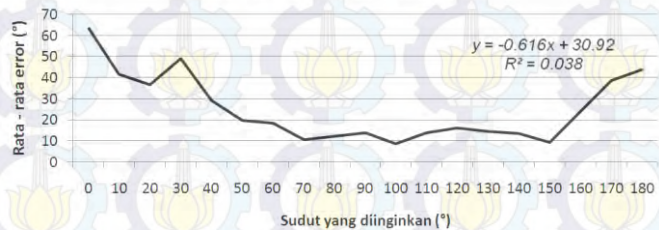
Selama rentang pengukuran yang dilakukan terhadap perubahan tiap 10° dari 0° hingga 180° hanya beberapa sudut yang dapat dilakukan deteksi dengan hasil mendekati sudut target sebenarnya selama rentang waktu pengukuran yang dilakukan.

b. Hasil pengukuran Lokasi B

Dari hasil pengukuran lokasi B dilakukan perhitungan rata-rata error yang terjadi pada tiap sudut seperti pada hasil data dari lokasi A sebelumnya, data error rata-rata yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 4.12 berikut.

Selama rentang pengukuran yang dilakukan terhadap perubahan tiap 10° dari 0° hingga 180° hanya beberapa sudut yang dapat dilakukan deteksi dengan hasil mendekati sudut target sebenarnya selama rentang waktu pengukuran yang dilakukan..

Estimasi Error Sudut

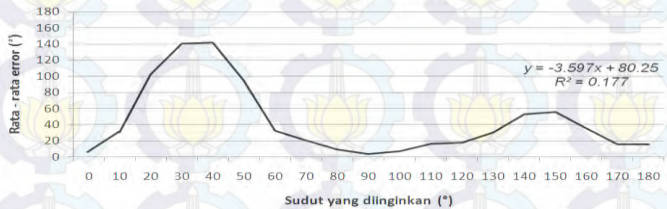


Gambar 4.12 Error sudut pada pengukuran lokasi B

c. Hasil pengukuran lokasi C

Dari hasil pengukuran lokasi C juga dilakukan perhitungan yang sama seperti skenario sebelumnya, data error rata-rata yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 4.13 berikut.

Estimasi Error Sudut

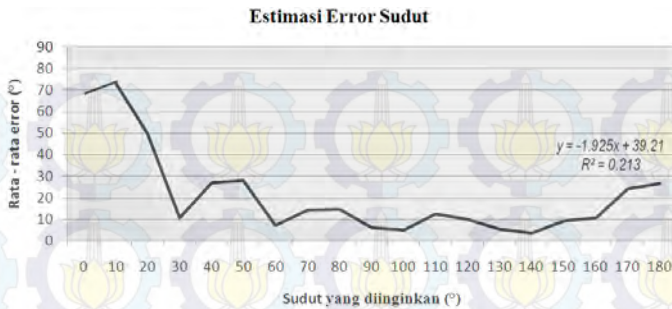


Gambar 4.13 Error sudut pada pengukuran lokasi C

Selama rentang pengukuran yang dilakukan terhadap perubahan tiap 10° dari 0° hingga 180° hanya beberapa sudut yang dapat dilakukan deteksi dengan hasil mendekati sudut target sebenarnya selama rentang waktu pengukuran yang dilakukan.

d. Hasil Pengukuran lokasi D

Dari hasil pengukuran lokasi D juga dilakukan perhitungan yang sama seperti skenario sebelumnya, data error rata-rata yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 4.14 berikut.

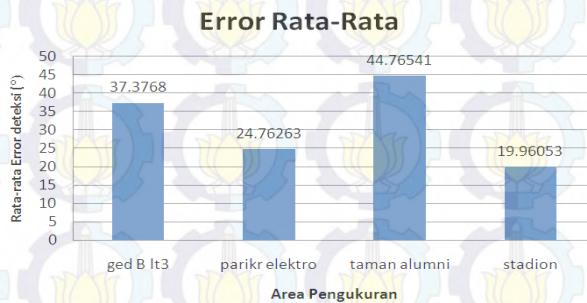


Gambar 4.14 Error sudut pada pengukuran skenario D

Selama rentang pengukuran yang dilakukan terhadap perubahan tiap 10° dari 0° hingga 180° hanya beberapa sudut yang dapat dilakukan deteksi dengan hasil mendekati sudut target sebenarnya selama rentang waktu pengukuran yang dilakukan..

Analisa Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran pada lokasi A hingga B diperoleh rata-rata hasil pengukuran yang berbeda – beda seperti pada Gambar 4.15.

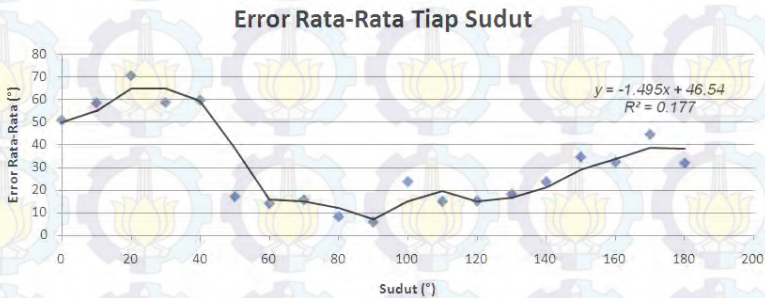


Gambar 4.15 Error rata-rata pengukuran

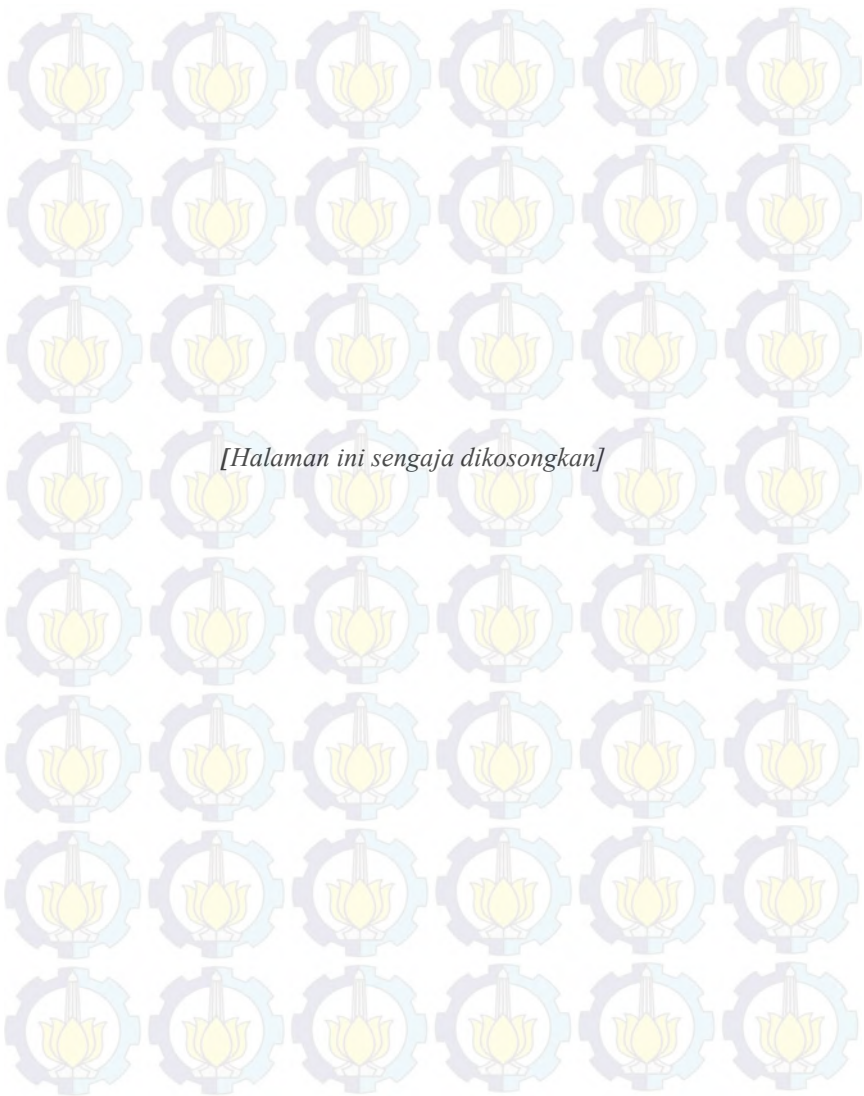
Dari gambar diatas dapat analisa error pengukuran paling tinggi terjadi pada pengukurana di taman alumni yaitu sebesar 44.765° hal tersebut dikarenakan posisi taman alumni yang sangat dekat dengan jalan sehingga terdapat banyak kendaraan yang mengakibatkan pantulan. Sedangkan untuk error terendah

terjadi pada pengukuran di lapangan parker stadion yaitu sebesar 19.9605° , hal tersebut dikarenakan area parkir stadion yang berada jauh dari jalan dan sedikit terdapat kendaraan serta jumlah wifi yang sedikit di area tersebut juga mendukung dalam pengukuran.

Dan untuk error rata-rata yang terjadi tiap sudut pada semua tempat pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.16. dari rata-rata error yang diperoleh bahwa error mengalami penurunan pada saat $20^\circ < \text{sudut} < 170^\circ$.



Gambar 4.16 Error rata-rata tiap sudut



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada perancangan sistem smart antenna dengan USRP yang perlu diperhatikan adalah sinkronisasi pada perangkat USRP. Dimana sinkronisasi merupakan hal yang sangat penting dalam penggunaan USRP dalam jumlah lebih dari satu sebagai sistem penerima.
2. Pada simulasi dengan pengaruh SNR yang berbeda-beda pada simulasi MATLAB didapat bahwa semakin besar nilai SNR maka keakuratan deteksi juga semakin baik.
3. Hasil error rata – rata terkecil yang diperoleh dari pengukuran adalah 19,96 dan hasil error rata-rata terbesar adalah 44,27. Hal tersebut terjadi karena kondisi lingkungan yang terlalu banyak pantulan maupun akibat dari kondisi perangkat dan keterbatasan sistem.
4. Error rata-rata yang terjadi tiap sudut pada semua tempat pengukuran diperoleh bahwa error mengalami penurunan pada saat $20^\circ < \text{sudut} < 170^\circ$.

5.2 Saran

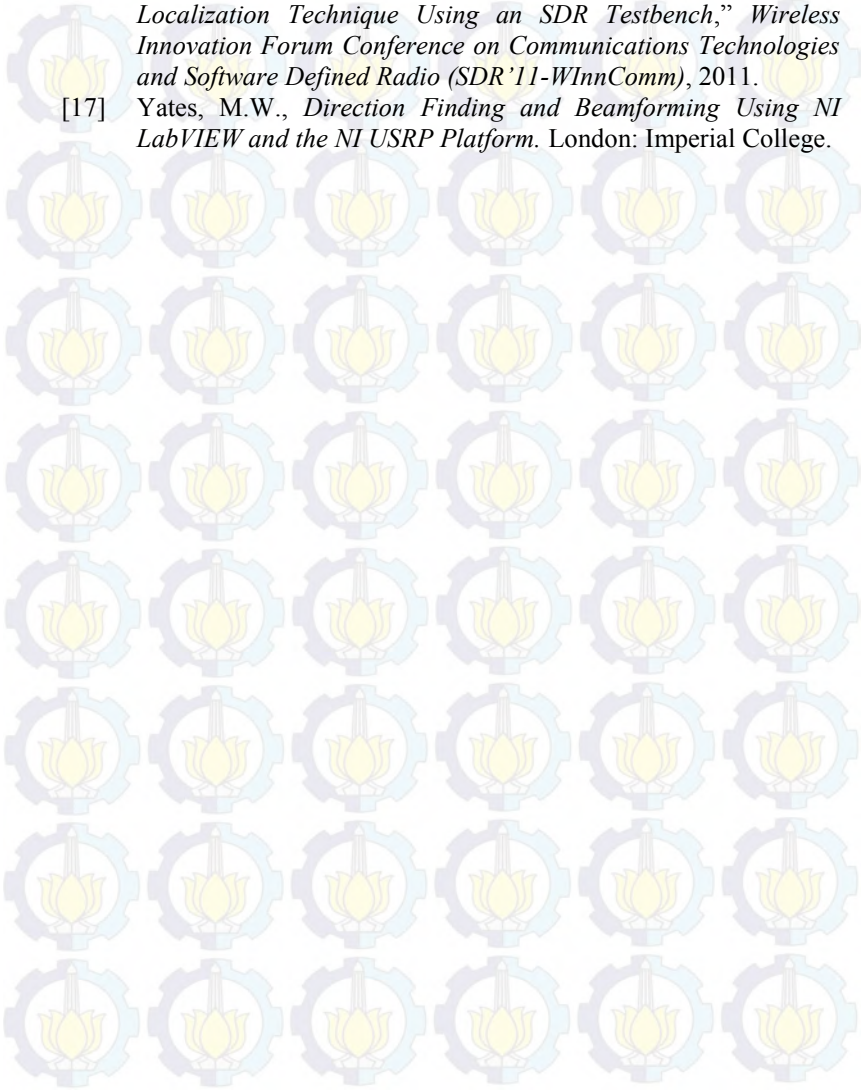
Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut beberapa saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya:

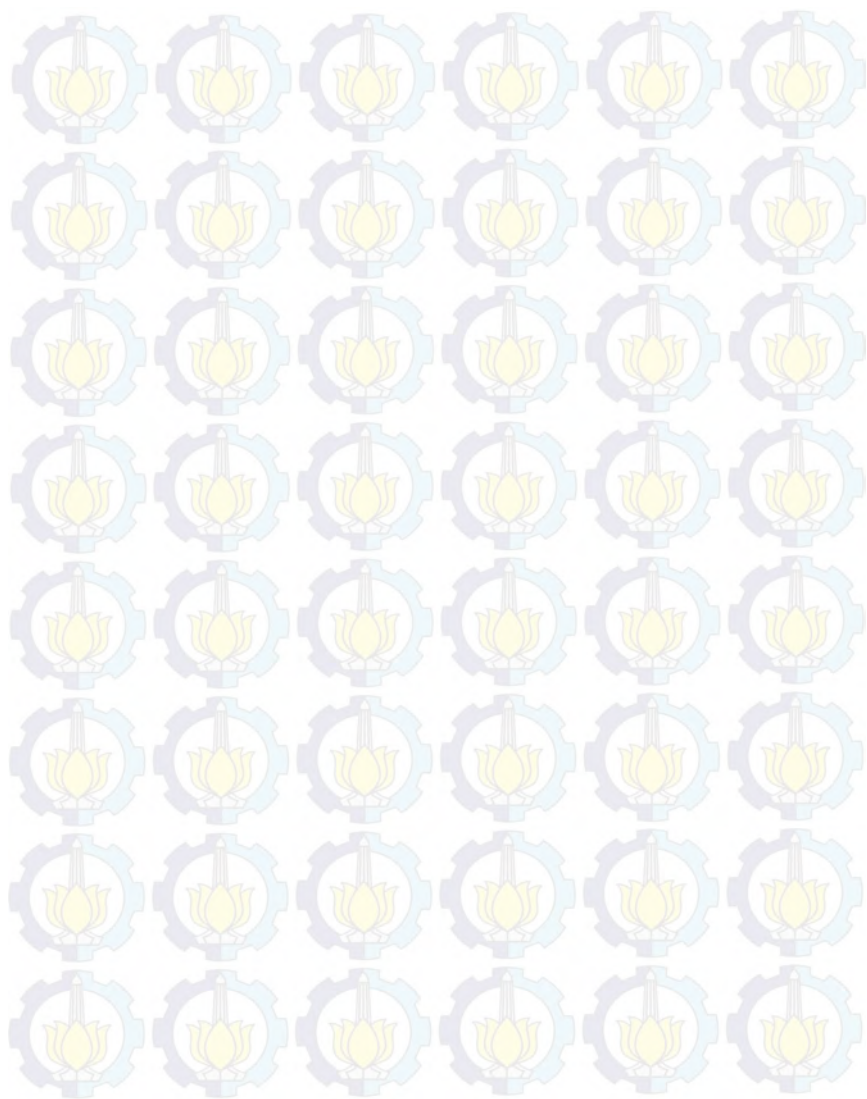
1. Merancang program sistem pada LabVIEW dengan lebih detail dan parameter yang digunakan harus lebih teliti.
2. Membuat sinkronisasi yang lebih baik pada sistem agar sistem dapat berjalan dengan baik dan stabil
3. Melakukan penelitian mengenai beamforming sinyal pada antenna secara real time.
4. Menggunakan elemen antenna array yang lebih banyak agar didapat nilai sudut yang lebih presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Usman. Koredianto, Suksmono. Andriyan B, “*Compressive Sensing untuk Direction of Arrival Estimation*”, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2014.
- [2] Gross, F., “*Smart Antennas for Wireless Communications With MATLAB*”, McGraw-Hill, United States of America, 2005.
- [3] Stutzman, W. L., dan Gary A.Thiele,. “*Antenna Theory and Design*”, John Wiley & Sons, New York, 2013.
- [4] Rappaport T.S., dan Liberti, J.C., “*Smart Antenna for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications*”, Prentice Hall, New Jersey, 1999.
- [5] Balanis, Constantine A., “*Antenna Theory : Analysis and Design, 3rd edition*”, John Wiley & Sons, New Jersey, 2005.
- [6] *USRP NI2922 Block Diagram*. Diakses tanggal 01 Desember 2015, National Instruments: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373380B-01/usrphelp/2922_block_diagram/
- [7] *Datasheet NI2922*. Diakses tanggal 01 Desember 2015. National Instruments: <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-355>
- [8] *LabVIEW Product Description*. Diakses tanggal 01 Desember 2015. National Instruments: <http://www.ni.com/labview>
- [9] Godara, L.C., “*Smart Antennas*”, CRC Press, United States of America, 2004.
- [10] Sklar, Bernard, “*Digital Communications Fundamentals and Applications*”, Prentice Hall, California, 2001.
- [11] Parsons, J.D., “*The Mobile Radio Propagation Channel, 2nd edition*”, John Wiley & Sons, United Kingdom, 1992.
- [12] Schmidt, Ralph O, “*Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation*”, IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1986.
- [13] Tang, Honghao, “*DOA estimation on MUSIC algorithm*”, Linneu University, Sweden, 2014.
- [14] *USRPTM N200/N210 Networked Series*. Diakses tanggal 01 Desember 2015. Ettus Research : https://www.ettus.com/content/files/07495_Ettus_N200-210_DS_Flyer_HR_1.pdf
- [15] Departemen Komunikasi dan Informasi Republik Indonesia, “*Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia*”, Lampiran Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor 29/PER/M.KOMINFO/07/2009 Tanggal 30 Juli 2009

- [16] Willerton, M., D. Yates, V. Goverdovsky, dan C. Papavassiliou, “*Experimental Characterization of a Large Aperture Array Localization Technique Using an SDR Testbench*,” *Wireless Innovation Forum Conference on Communications Technologies and Software Defined Radio (SDR’11-WinnComm)*, 2011.
- [17] Yates, M.W., *Direction Finding and Beamforming Using NI LabVIEW and the NI USRP Platform*. London: Imperial College.





LAMPIRAN A

PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR

INSTITUT TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri ITS

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Rinieta Shifa Fauziah
Nomer Pokok : 2213.06070
Bidang Studi : Teknik Telekomunikasi dan Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Gasal 2015/2016
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Puji Handayani, MT.
2. Prof. Ir. Gamantyo H.M. Eng. Ph.D.

16 SEP 2015

Judul Tugas Akhir : **Implementasi Algoritma Multiple Signal Classification (MUSIC) dan Maximum Signal to Interference Ratio pada Universal Software Radio Peripheral (USRP) untuk Antena Cerdas**
(*Implementation Multiple Signal Classification (MUSIC) and Maximum Signal to Interference Ratio Algorithm on Universal Software Radio Peripheral (USRP) for Smart Antenna*)

Uraian Tugas Akhir :

Sebuah Antena cerdas merupakan konfigurasi antena dengan beberapa susunan elemen yang dapat mengidentifikasi tanda sinyal spasial seperti DoA (*Direction of Arrival*) dari sebuah sinyal, dan digunakan untuk mengkalulasikan (memperhitungkan) vektor *beamforming*. Dalam tugas akhir akan dilakukan simulasi untuk menerapkan prinsip *smart antenna* tersebut dengan menggunakan USRP untuk mempermudah dalam DoA dan *beamforming* maka digunakan dua Algoritma yaitu Algoritma MUSIC dan Algoritma *Maximum Signal to Interference*. Algoritma MUSIC digunakan untuk *Direction of Arrival* dan Algoritma *Maximum Signal to Interference* digunakan untuk melakukan *beamforming* serta menekan sinyal interferensi. Kedua algoritma tersebut akan langsung citrakan dalam program simulasi LabView, agar didapat nilai secara realtine. Untuk mengetahui performansi dari implementasi tersebut maka di akan pengukuran daya pada sisi antena pengirim dan antena penerima.

Dosen Pembimbing I


Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Puji Handayani, MT
NIP. 196603191992032002


Prof. Ir. Gamantyo H.M. Eng. Ph.D.
NIP. 1970111419920310002

Mengatakan,
Fakultas Teknik Elektro ITS
Ketua

Menyetujui,
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Koordinator


Dr. Tri Arief Sardjono, ST, MT
NIP. 197103121993121001


Dr. Ir. Endrosono, D.E.A
NIP. 196504041951021001

LAMPIRAN B

SPEKIFIKASI PERANGKAT

USRP™ N200/N210 NETWORKED SERIES

FEATURES

- Use with GNU Radio, LabVIEW™ and Simulink™
- Modular Architecture: DC-6 GHz
- Dual 100 MS/s, 14-bit ADC
- Dual 400 MS/s, 16-bit DAC
- ODC/DUC with 25 mHz Resolution
- Up to 50 MS/s Gigabit Ethernet Streaming
- Fully-Coherent MIMO Capability
- Gigabit Ethernet Interface to Host
- 2 Gbps Expansion Interface
- Spartan 3A-DSP 1800 FPGA (N200)
- Spartan 3A-DSP 3400 FPGA (N210)
- 1 MB High-Speed SRAM
- Auxiliary Analog and Digital I/O
- 2.5 ppm TCXO Frequency Reference
- 0.01 ppm w/ GPSDO Option

N200/N210 PRODUCT OVERVIEW

The Ettus Research™ USRP™ N200 and N210 are the highest performing class of hardware of the USRP™ (Universal Software Radio Peripheral) family of products, which enables engineers to rapidly design and implement powerful, flexible software radio systems. The N200 and N210 hardware is ideally suited for applications requiring high RF performance and great bandwidth. Such applications include physical layer prototyping, dynamic spectrum access and cognitive radio, spectrum monitoring, record and playback, and even networked sensor deployment.

The Networked Series products offers MIMO capability with high bandwidth and dynamic range. The Gigabit Ethernet interface serves as the connection between the N200/N210 and the host computer. This enables the user to realize 50 MS/s of real-time bandwidth in the receive and transmit directions, simultaneously (full duplex).

The Networked Series MIMO connection is located on the front panel of each unit. Two Networked Series units may be connected to realize a complete 2x2 MIMO configuration using the optional MIMO cable. External PPS and reference inputs can also be used to create larger multi-channel systems. The N200 and N210 are largely the same, except that the N210 features a larger FPGA for customers that intend to integrate custom FPGA functionality.

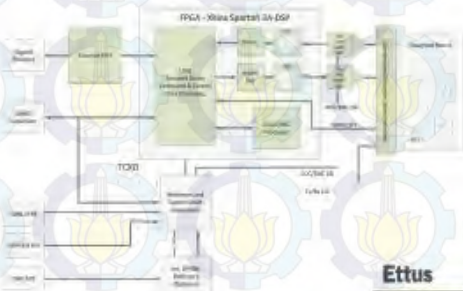
The USRP Hardware Driver™ is the official driver for all Ettus Research products. The USRP Hardware Driver supports Linux, Mac OSX, Windows.

USRP™ N200/N210 NETWORKED SERIES

SPECIFICATIONS

Spec	Typ.	Unit	Spec	Typ.	Unit
POWER			RF PERFORMANCE (w/ WBX)		
DC Input	6	V	SSB/LD Suppression	35/50	dBc
Current Consumption	1.3	A	Phase Noise (1.8 GHz)		
w/ WBX Daughterboard	2.3	A	10 kHz	-80	dBc/Hz
CONVERSION PERFORMANCE AND CLOCKS			100 kHz	-100	dBc/Hz
ADC Sample Rate	100	MS/s	1 MHz	-137	dBc/Hz
ADC Resolution	14	bits	Power Output	15	dBm
ADC Wideband SFDR	88	dBc	IIP3	0	dBm
DAC Sample Rate	400	MS/s	Receive Noise Figure	5	dB
DAC Resolution	16	bits	PHYSICAL		
DAC Wideband SFDR	80	dBc	Operating Temperature	0 to 55°	C
Host Sample Rate (8b/16b)	50/25	MS/s	Dimensions (l x w x h)	22x16x5	cm
Frequency Accuracy	2.5	ppm	Weight	1.2	kg
w/ GPSDO Reference	0.01	ppm			

* All specifications are subject to change without notice.



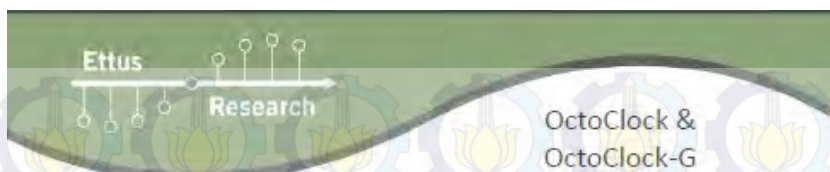
ABOUT ETTUS RESEARCH

Ettus Research is an innovative provider of software defined radio hardware, including the original Universal Software Radio Peripheral (USRP) family of products. Ettus Research products maintain support from a variety of software frameworks, including GNU Radio. Ettus Research is a leader in the GNU Radio open-source community, and enables users worldwide to address a wide range of research, industry and defense applications. The company was founded in 2004 and is based in Mountain View, California. As of 2010, Ettus Research is a wholly owned subsidiary of National Instruments.



1043 North Shoreline Blvd
Suite 100
Mountain View, CA 94043

T 850.967.2870 FAX 850.967.2871
WWW.ETTUS.COM



FEATURES

- Fully Integrated Timing Source with 8-Way Distribution (10 MHz and 1 PPS)
- Convenient Solution for Multi-Channel Synchronization
- Use with MIMO-Capable USRP Devices for Coherent System
- User Selection between Internal GPSDO Or External 10 MHz & 1 PPS Source
- Source detection with automatic switch-over in case of failure or disconnect
- 19" 1U rack mountable



	8 Channel Clock Distribution	Integrated GPSDO
OctoClock	✓	
OctoClock-G	✓	✓

Product Overview

The OctoClock 8-channel clock distribution module can provide both frequency and time synchronization for up to eight Universal Software Radio Peripheral (USRP™) devices by amplifying and splitting an external 10 MHz reference and PPS (pulse per second) signal 8-ways through matched-length traces. The OctoClock-G adds an internal time and frequency reference using an integrated GPSDO (GPS-disciplined oscillator). A switch on the front-panel allows the user to choose between the internal GPSDO and an externally supplied reference. Both OctoClocks allow users to easily build MIMO systems and work with higher channel-count systems that might include MIMO research, direction finding, beamforming, transmitter geolocation, and more.

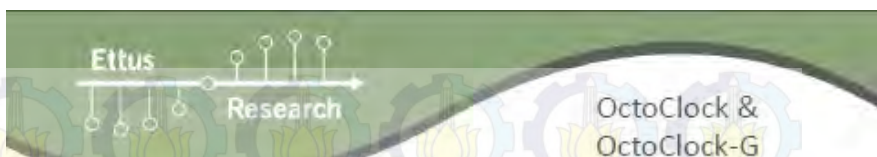
Octoclock

The Octoclock provides 10 MHz and PPS inputs on the front panel of the device that are then distributed to each of eight 10 MHz and PPS SMA outputs. Each output signal is amplified to maintain level and signal integrity after being divided eight ways.

Octoclock-G

The OctoClock-G distributes 10 MHz and 1 PPS signals generated from an internal GPS-disciplined oven-controlled oscillator (GPSDO) or an external source. The user can switch between these two sources with a front-panel switch, and there is automatic switch-over capability in case of failure or source disconnect.

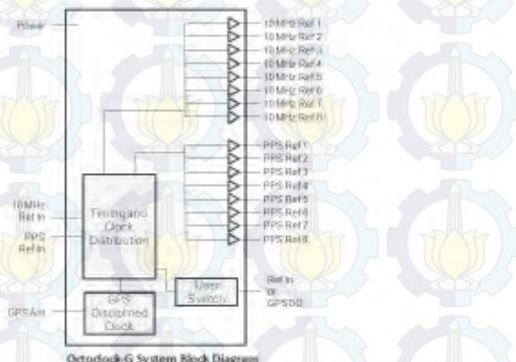
The GPSDO serves as an accurate reference that can be synchronized to the GPS timing standard. This allows developers to time-align multi-channel systems across the globe to within a few 100 ns. When the GPSDO is not locked to the GPS constellation, it still provides 10 MHz/1 PPS signals, with accuracy better than 25 ppb.



Spec	Typ.	Unit
Power		
DC Input	5-15	V
Current Consumption	<1	A
Input		
10 MHz Input Range	0-20	dBm
1 PPS Input	1.5 - 5	V
GPSDO Specifications		
Active GPS Antenna (User supplied)	5	V
Frequency Accuracy w/ out GPS Lock	25	ppb
Frequency Accuracy with GPS Lock	<1	ppb
PPS Accuracy with GPS Lock	50	ns

*All specifications are subject to change without notice.

Spec	Typ.	Unit
Output		
10 MHz Output	~1.4	V _{pp}
10 MHz Output Waveform	Square wave	
10 MHz Output Impedance	50	Ohm
1 PPS Output	5	V
1 PPS Waveform	Logic-level pulse	
Physical		
Dimension (3U Rackmount)	4 x 17.187 x 1.75	inches
Weight	2.6	lbs.



About Ettus Research

Ettus Research is an innovative provider of software defined radio hardware, including the original Universal Software Radio Peripheral (USRP) family of products. Ettus Research products maintain support from a variety of software frameworks, including GNU Radio. Ettus Research is a leader in the GNU Radio open-source community, and enables users worldwide to address a wide range of research, industry and defense applications. The company was founded in 1004 and is based in Mountain View, California. As of 2010, Ettus Research is a wholly owned subsidiary of National Instruments.

4600 Patrick Henry Drive
Santa Clara, CA 95054

P 408.610.6399
F 866.807.9801

www.ettus.com



Detailed Specifications & Technical Data

ENGLISH MEASUREMENT VERSION

BELDEN
Cable Division

8219 Coax - RG-58A/U Type

For more information
please call

1-800-Belden1



General Description:

RG-58A/U type, 20 AWG stranded (19x32) .037" tinned copper conductor, foam polyethylene insulation, tinned copper braid shield (95% coverage), PVC jacket.

Physical Characteristics (Overall)

Conductor

AWG: 20
Strands: 19
Material: Tinned Copper

Total Number of Conductors: 1

Insulation

Insulation Material:

Insulation Material: Foam PE
Foam Polyethylene: 114

Outer Shield

Outer Shield Material:

Type: Tinned Copper
Braid: Tinned Copper
Coverage: 95.00%

Outer Jacket

Outer Jacket Material:

Material: PVC
Polyvinyl Chloride

Overall Cable

Overall Nominal Diameter: 0.193 in.

Mechanical Characteristics (Overall)

Operating Temperature Range: -40°C To +80°C

UL Temperature Rating: 80°C

Bulk Cable Weight: 25 lbs/1000 ft

Max. Recommended Pulling Tension: 80 lbs.

Min. Bend Radius/Min. A-B: 2 in.

Applicable Specifications and Agency Compliance (Overall)

Applicable Standards & Environmental Programs

MIL-STD-1818 (MIL)

Specification: CM

CSG/UL Specification:

Specification: CM

AWM Specification:

Specification: UL Style 1554

EU Directive 2011/65/EU (RoHS II): Yes

EU CE Mark: Yes

EU Directive 2002/95/EC (WEEE): Yes

EU Directive 2002/96/EC (RoHS): Yes

EU RoHS Compliance Data (nnnnnnnnnn): 01/10/04

EU Directive 2002/95/EC (WEEE): Yes

EU Directive 2002/96/EC (RoHS): Yes

CA Prop 65 (12 for Wire & Cable): Yes

MIL Order 480 (China RoHS): Yes

RoHS Specification: 10-103-05

Detailed Specifications & Technical Data

ENGLISH MEASUREMENT VERSION

BELDEN
Cable and Wire Division

8219 Coax - RG-58A/U Type

Wire type:	00000
Flame Test:	
UL Flame Test:	UL1685 UL-Listing
Suitability:	
Suitability - Indoor:	Yes
Plenum/Non-Plenum:	
Plenum (VW):	No

Electrical Characteristics (Overall)

Nom. Characteristic Impedance:

Impedance (Ohm):
50

Max. Inductance:

Inductance (pH/ft):
0.002

Max. Capacitance Conductor to Shield:

Capacitance (pF/ft):
20.5

Nominal Velocity of Propagation:

VP (%):
78

Nominal Delay:

Delay (nanos):
1.30

Max. Conductor DC Resistance:

DCR (g 20°C) (ohms/100 ft):
0.5

Nominal Outer Shield DC Resistance:

DCR (g 20°C) (ohms/100 ft):
4.5

Max. Attenuation:

Imp. (dB) Attenuation (dB/100 ft)	
1	0.4
10	1.3
50	3.1
100	4.5
200	6.9
400	10.2
700	14.2
900	16.6
1000	18.1

Max. Operating Voltage - UL:

Voltage:
30 V RMS (UL AWM Style 1054)
300 V RMS (CM)

Other Electrical Characteristics:

Actual impedance specification is 50.5 ± 3 ohms.

Put Ups and Colors:

Part #	Length	Weight	Color	Notes	Part Used
8219 0001000	300 FT	14,000 LB	WHITE		RG58A/U TYPE COAX
8219 0001000	1,000 FT	28,000 LB	WHITE	C	RG58A/U TYPE COAX
8219 0001000	1,000 FT	27,000 LB	BLACK		RG58A/U TYPE COAX
8219 0001000	800 FT	14,000 LB	BLACK		RG58A/U TYPE COAX
8219 0001000	1,000 FT	28,000 LB	BLACK	C	RG58A/U TYPE COAX
8219 000200	800 FT	14,000 LB	BLACK	C	RG58A/U TYPE COAX

Notes:
C=USATE REEL PUT-UP

Detailed Specifications & Technical Data



ENGLISH MEASUREMENT VERSION

8219 Coax - RG-58A/U Typa

Releasch Number: 3 Revision Date: 27-05-2013

© 2013 Belden, Inc.
All Rights Reserved

Although Belden makes every reasonable effort to ensure the accuracy at the time of this publication, information and specifications described herein are subject to error or omission and to change without notice, and the filing of such information and specifications does not ensure product availability.

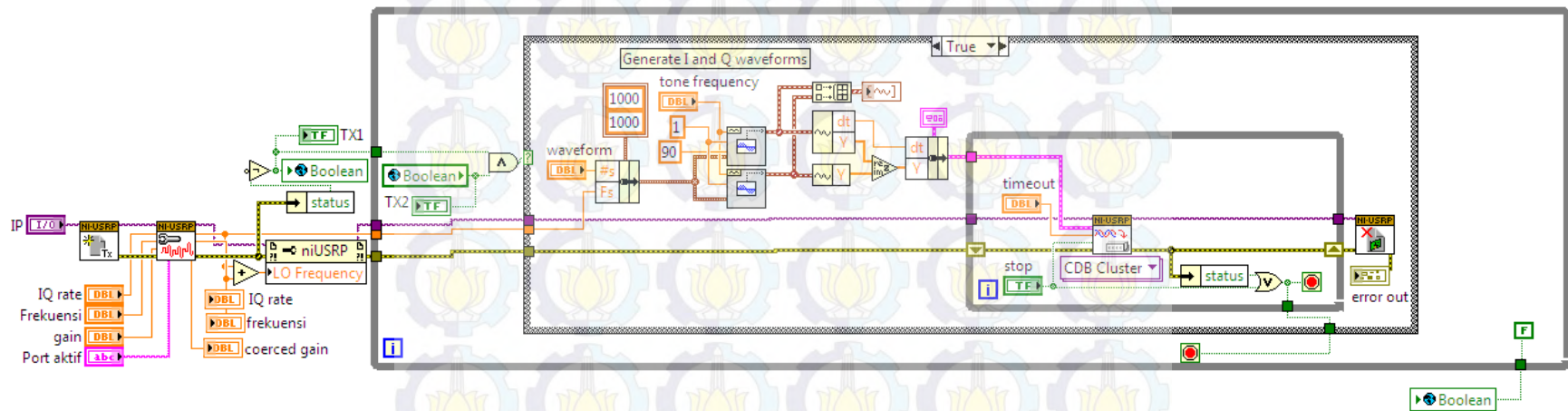
Belden provides the information and specifications herein on an "AS IS" basis, with no representations or warranties, whether express, statutory or implied, to no extent will Belden be liable for any damages, including consequential, indirect, incidental, special, punitive, or exemplary damages whatsoever, even if Belden has been advised of the possibility of such damages, whether in an action under contract, negligence or any other theory, arising out of or in connection with the sale or inability to use, the information or specifications described herein.

All sales of Belden products are subject to Belden's standard terms and conditions of sale.

Belden warrants this product to be in compliance with EU RoHS (Directive 2002/95/EC, 27-Jan-2006). Material manufactured prior to the compliance date may be in stock at Belden facilities and in our Customer's inventory. The information provided in this Product Disclosure, and the identification of materials listed as restricted or restricted within the Product Disclosure, is subject to the best of Belden's knowledge, information, and belief at the date of its publication. The foregoing provided in this Product Disclosure is designed only as a general guide for the safe handling, storage, and any other questions of the product itself to the extent it becomes a part of. This Product Disclosure is not to be considered a warranty or quality certification. Regulatory information is for guidance purposes only. Product users are responsible for determining the applicability of regulation and regulations based on their individual usage of the product.

Belden declares this product to be in compliance with EU LVD (Low Voltage Directive 73/23/EEC), as amended by directive 93/68/EEC.

LAMPIRAN C
Diagram Blok Tx ref



Front Panel Tx ref

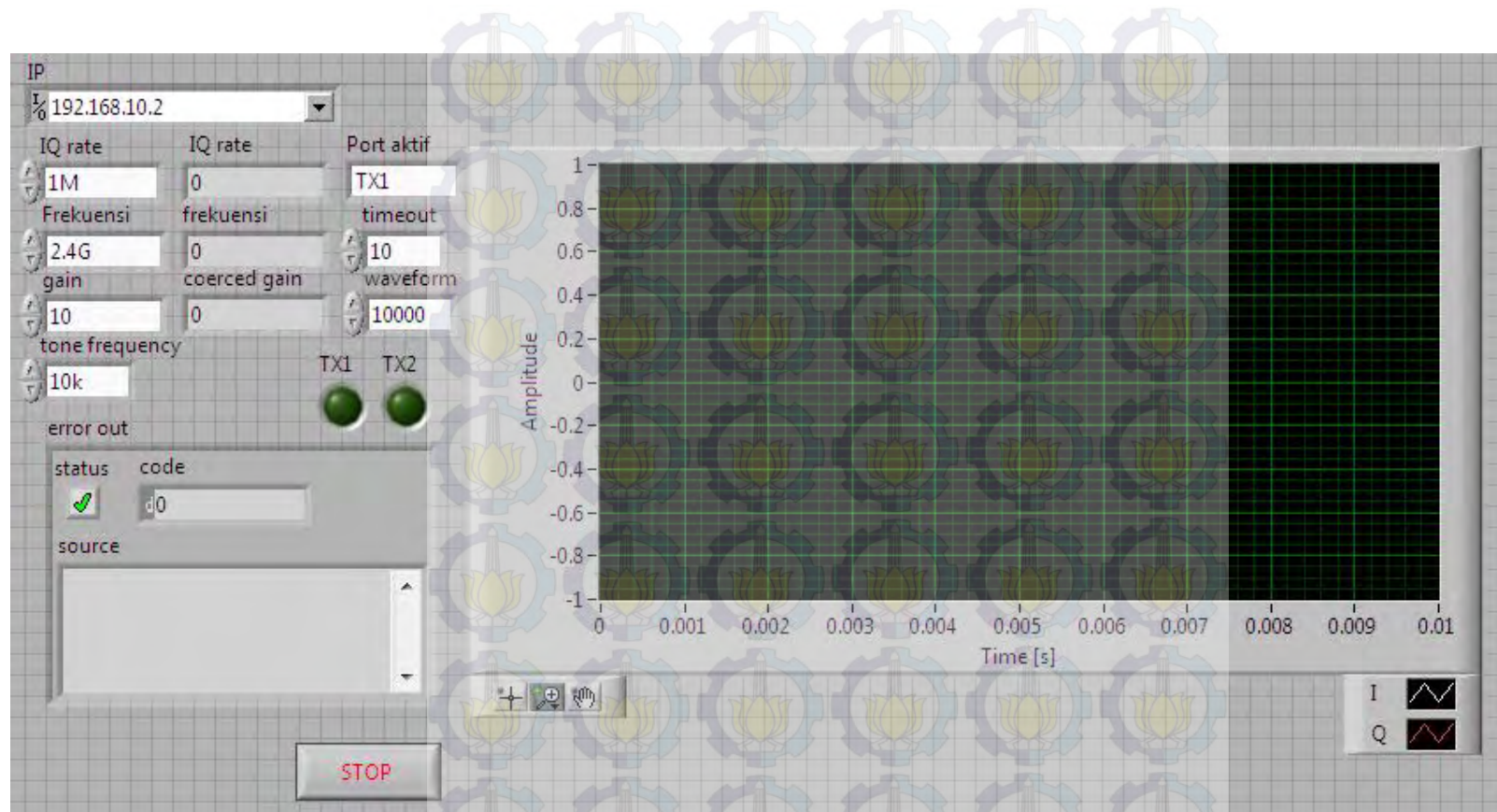
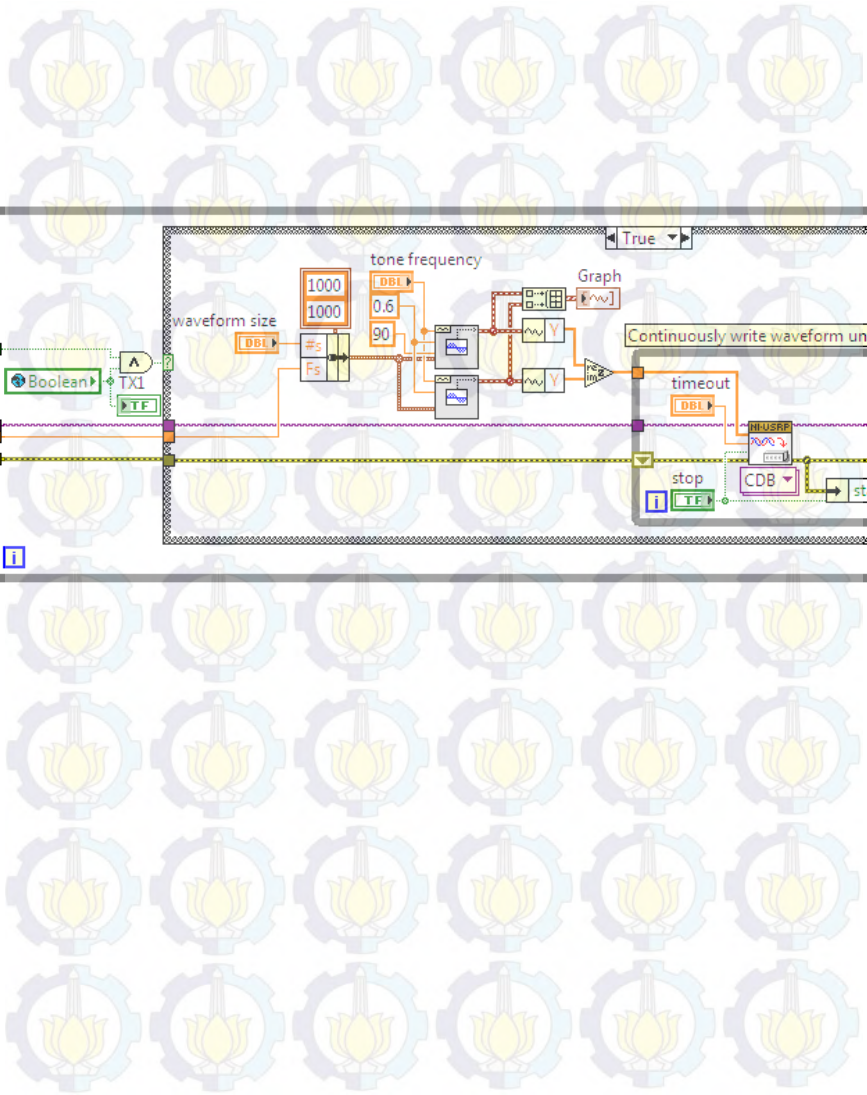
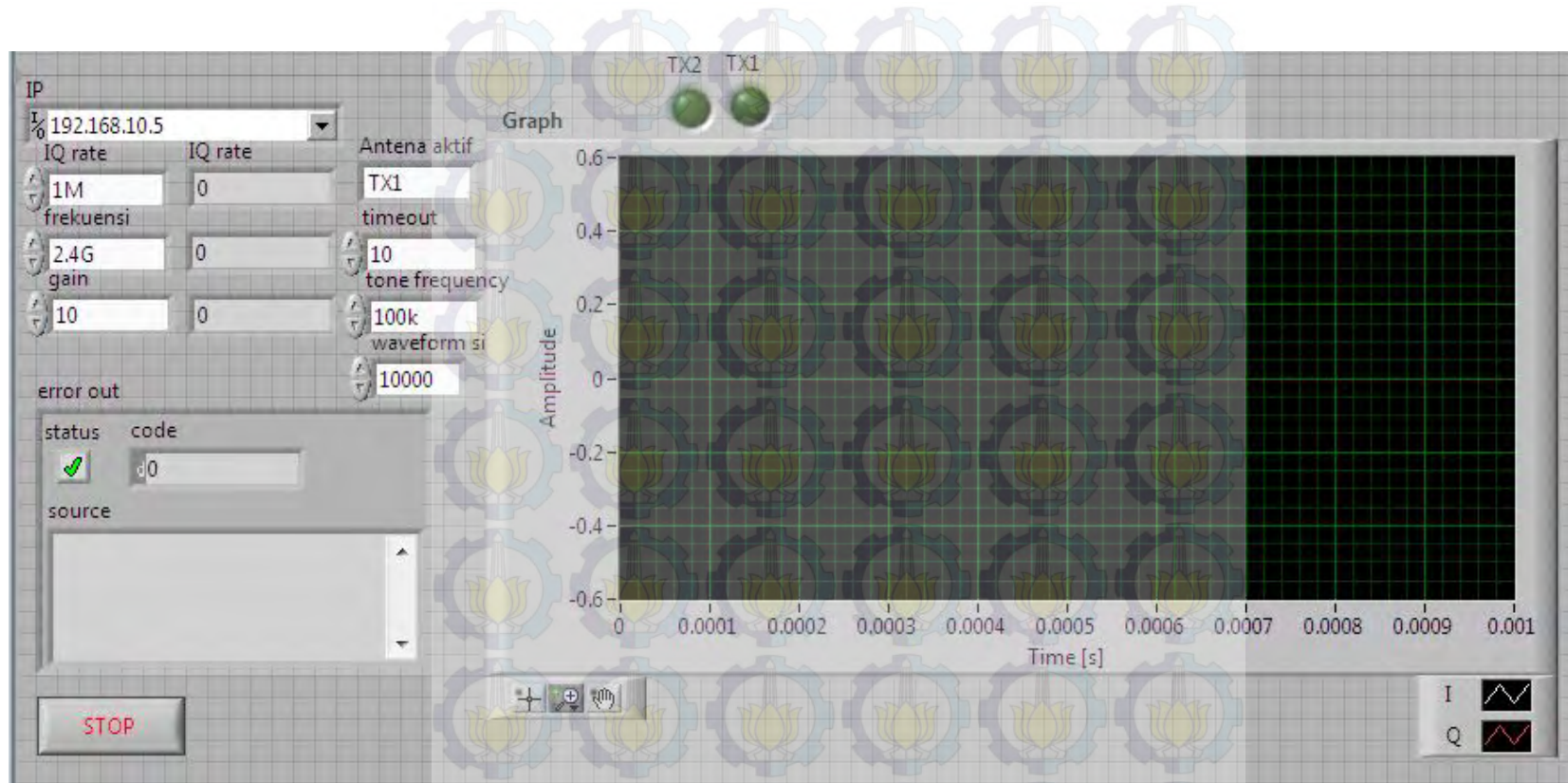


Diagram Blok Tx



Front Panel Tx ref



Front Panel Rx

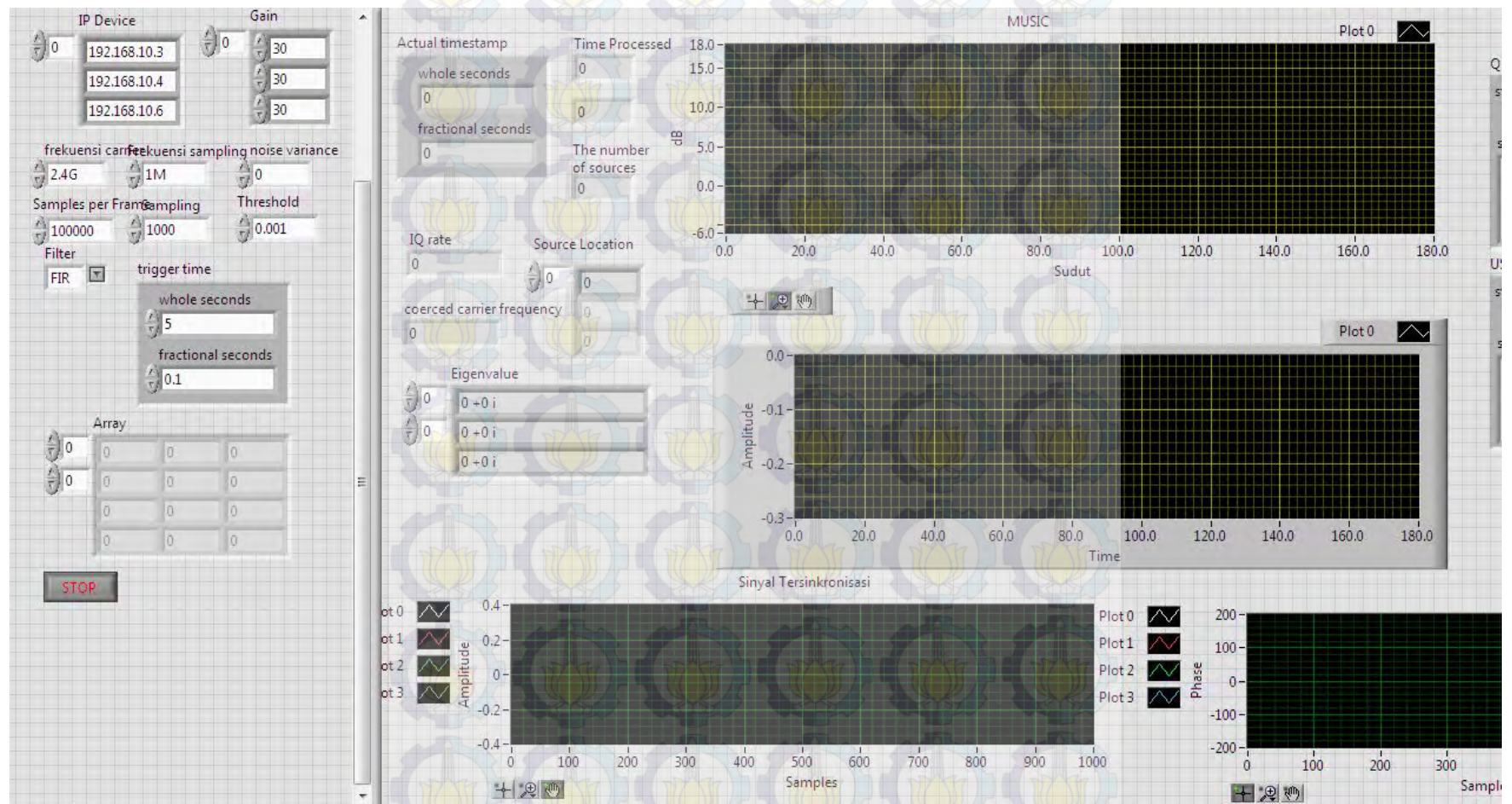
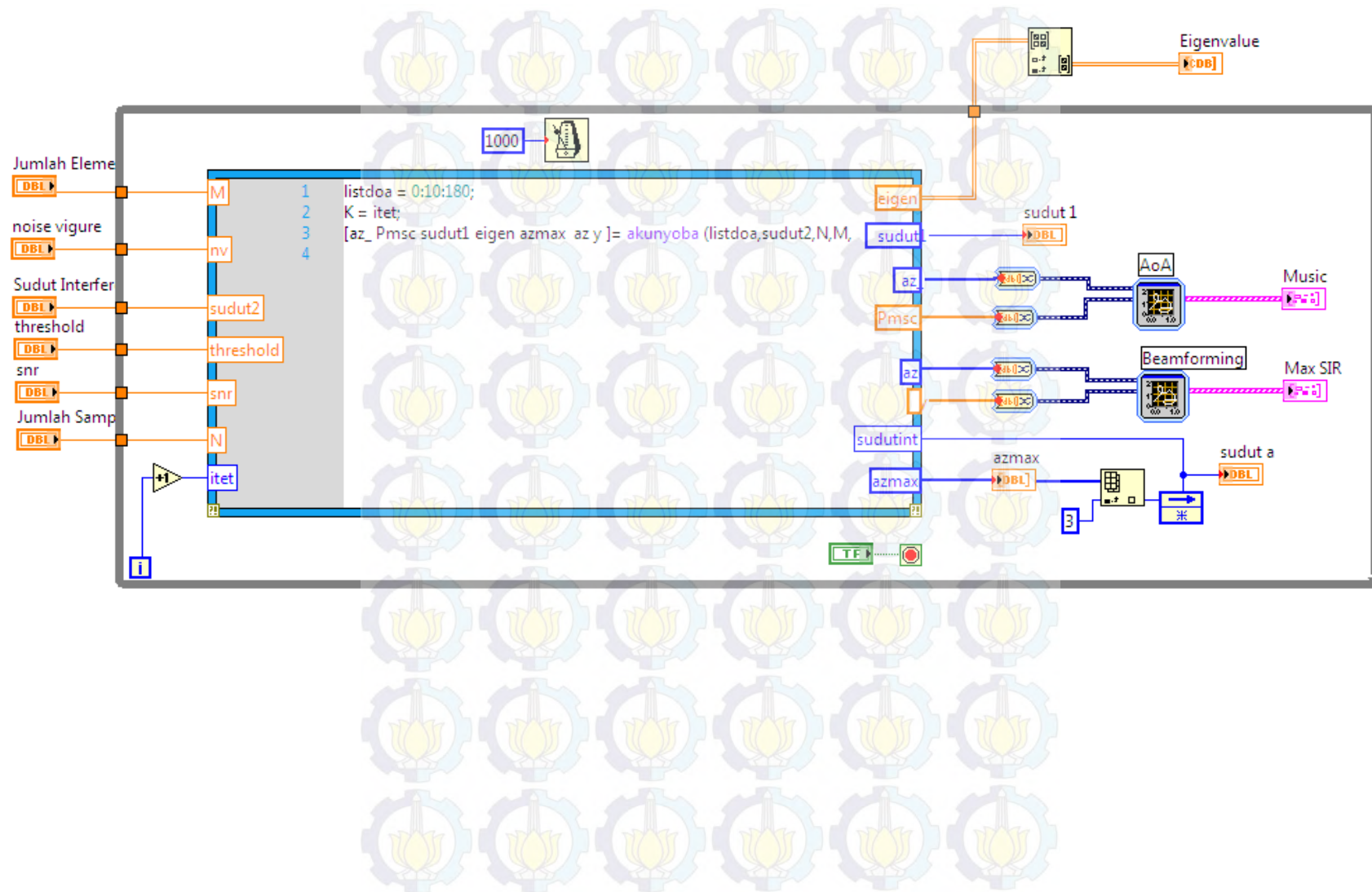
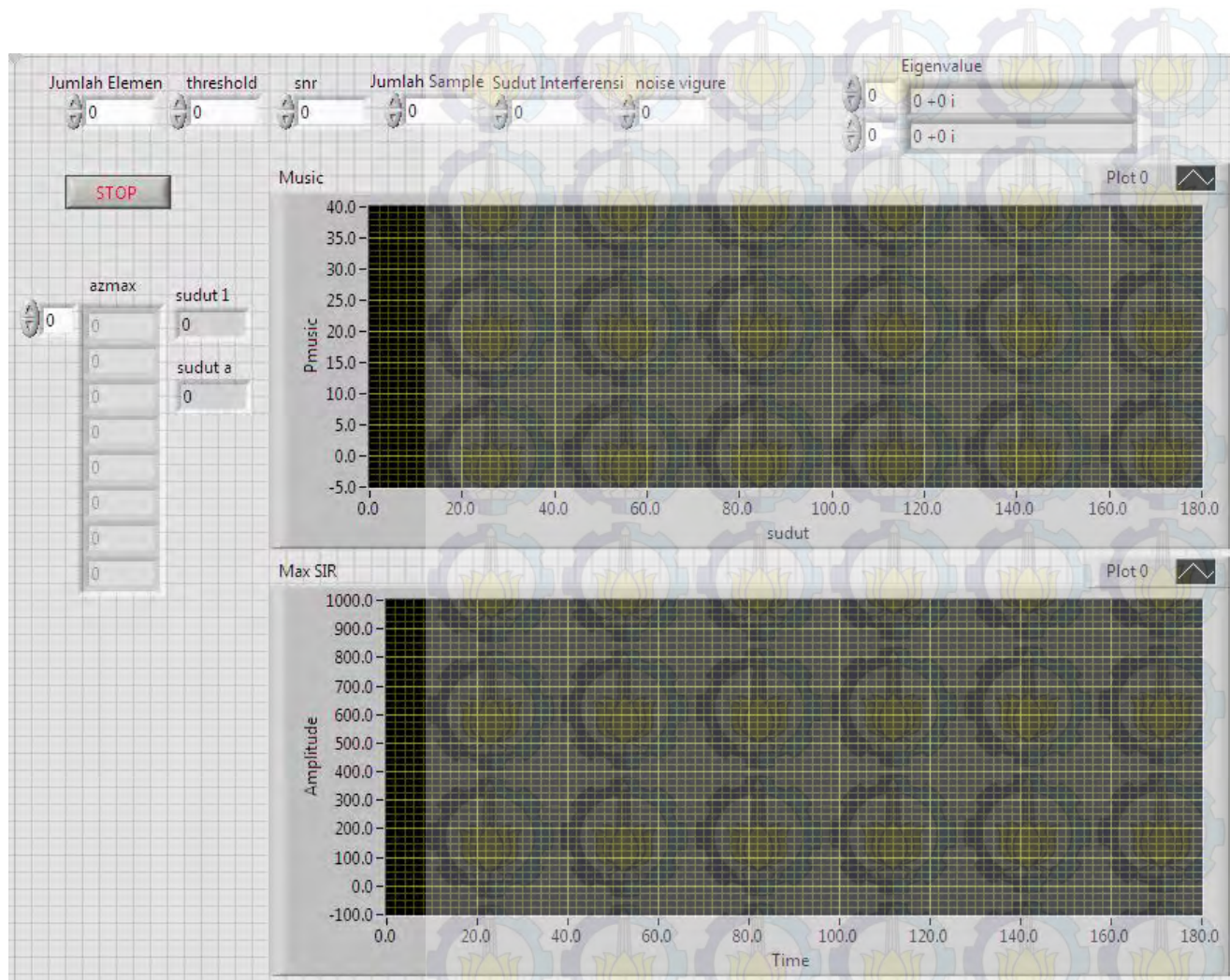


Diagram Blok Simulasi



Front Panel Simulasi



LAMPIRAN D

SKRIP PROGRAM MATLAB

```
clc
close all
clear all
format long

%% inisialisasi
thet1 = 60;
thet2 = 100;
doa=[thet1 thet2]/180*pi; %Sudut target
N=1000;%Sampling
M=3;%Jumlah elemen antena
P=length(doa);
snr=20;%SNR
sig2=0.2; % noise variance

%% membangkitkan Steering vektor
D=zeros(P,M);
for k=1:P
D(k,:)=exp(-j*pi*cos(doa(k))*[0:M-1]);
end
D=D';

%% pembangkitan sinyal
xx=exp(j*rand(P,N)*pi); %pembangkitan sinyal
random
x=D*xx;
x=awgn(x,snr);%menambahkan noise gaussian pada
tiap matrix

%% Algoritma MUSIC (DoA)
R=x*x'/N; %Matrix kovarian
[EN,V]=eig(R); %menentukan nilai eigen vektor
dan eigen velue
NN=EN(:,1:M-P); %Estimasi noise subspace dengan
memisahkan sinyal dengan noise
theta=0:1:180;
```



```

for ii=1:length(theta)
SS=zeros(1,length(M));
for jj=0:M-1
SS(1+jj)=exp(-
j*jj*pi*cos(theta(ii)/180*pi));%pembangkitan
steering vector tiap sudut
end
PP=SS*NN*NN'*SS';
Pmusic(ii)=abs(1/ PP);
end
Pmusic=10*log10(Pmusic/max(Pmusic)); %Spatial
spectrum function
plot(theta,Pmusic,'-k')

xlabel('angle \theta/degree')
ylabel('spectrum function P(\theta) /dB')
title('DOA estimation based on MUSIC algorithm
')
grid on

% pencarian nilai sudut
[Pmusicmax,thetamax] =
findpeaks(Pmusic,'SortStr','descend')
sudut = thetamax-1
th0 = sudut (1)
thintf = sudut (2)

findpeaks(Pmusic,theta)

xlabel('Sudut (derajat)')
ylabel('Pmusic (dB)')
title('DOA dengan algoritma MUSIC')

if th0 == thet2
    thB = th0
else
    thA = th0
end
if thintf == thet2

```

```

        thB = thintf
    else
        thA = thintf
    end

    th0 = thA
    thintf = thB

    %% steering vector sinyal yang diinginkan
    th0=[th0]/180*pi;
    P=length(th0);
    a=zeros(P,M);
    for k=1:P
        a(k,:)=exp(-j*pi*cos(th0(k))*[0:M-1]);
    %%steering vector
    end
    l=a';
    Rss=l*l'/N; %kovarian matrix sinyal yang
    diinginkan

    %% steering vector sinyal interferer
    thintf=[thintf]/180*pi;
    Q=length(thintf);

    b=zeros(Q,M); % membuat matrix dgn P baris dan
    M kolom
    for k=1:Q
        b(k,:)=exp(-j*pi*cos(thintf(k))*(2-[0:M-1]));
    %%steering vector
    end

    A = b.';
    Rii=A*A'/N; % interferer correlation matrix
    GG = eye(M);% membentuk matrik identitas dari
    M(sejumlah elemen antena);
    Rnn=sig2*GG;% matrix korelasi dari noise
    Ruu=Rii+Rnn;% total matrix korelasi dari sinyal
    interferer
    I =inv(Ruu);

```

```

    %% Algoritma Maximum SIR (Beamforming)
    R=I*Rss;
    [Ev,v]=eig(R); %mencari nilai eigen value dan
    eigen vector
    [Y,Index]=sort(diag(v));% mengurutkan
    eigenvalues dari terkecil ke terbesar
    SIRmax=max(Y);% mencari nilai maximum SIR
    B=a/SIRmax;
    w=(B*I)/1000; % normalisasi nilai bobot
    dengan SIR maximum
    theta=0:1:180;
    for ii=1:length(theta)
        for jj=0:M-1
            SS(1+jj)=exp(-
j*jj*pi*cos(theta(ii)/180*pi));
        end
        y(ii)=(SS*w'); %Pembobotan pada tiap
    sudut
    end
    figure;
    plot(theta,abs(y),'k')
    xlabel('Sudut\theta')
    ylabel('|\array factor(\theta)|')
    title ('Beamforming MaxSIR')
    grid on

    [ymax,thetamax] = max(y)
    thetamax = thetamax-1
    figure(3);
    polar([theta/180*pi 2*pi-theta/180*pi],[abs(y)
    abs(y)])

```

LAMPIRAN E

DOKUMENTASI PENGUKURAN

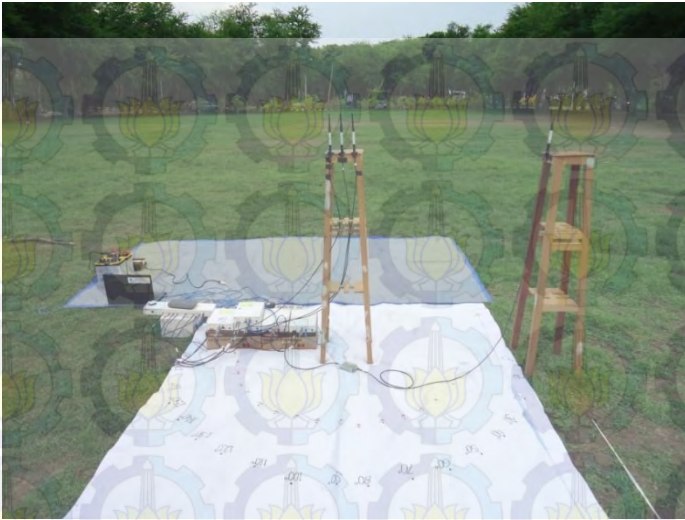
Pengukuran lokasi A (Di lantai 3 Gedung B)



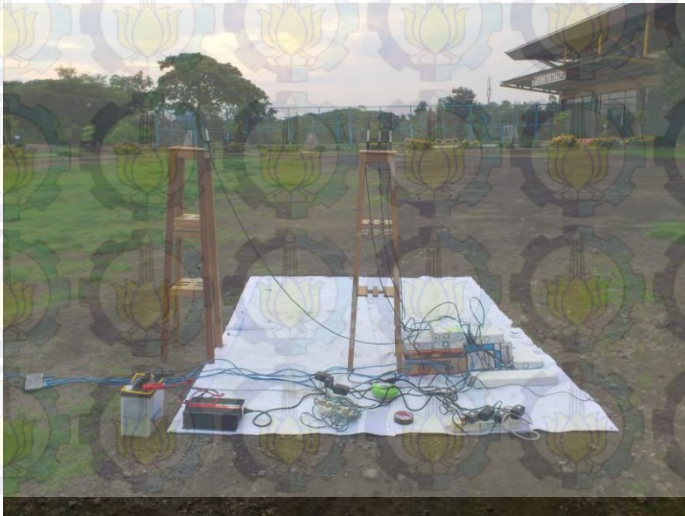
Pengukuran lokasi B (Lapangan Parkir Jurusan Teknik Elektro)



Pengukuran lokasi C (Taman Alumni ITS)



Pengukuran Lokasi D (Lapangan Parkir Stadion ITS)



BIODATA PENULIS



RANIETA SHIFA FAUZIAH

Dilahirkan di Klaten pada tanggal 26 April 1991, merupakan putrid ke tiga dari Bapak Ir. Darsono dan Ibu Siti Rochani, BA. Riwayat pendidikan formal yang pernah ditempuh adalah SDN 2 Babalan P.Berandan pada tahun 1997-2003. SMPN 2 Babalan pada tahun 2003-2006. SMAN 1 Babalan pada tahun 2006-2009. Diploma 3 di Institut Teknologi Telkom Bandung Jurusan Teknik Telekomunikasi pada tahun 2009-2013.

Kemudian pada bulan Januari 2014 penulis melanjutkan studi ke jenjang Sarjana untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Elektro Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.